

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Elektrofahrzeug, und insbesondere ein Elektrofahrzeug mit einem Fahrzeugantriebsmotor für jedes Antriebsrad, d. h. ein Radmotor-Elektrofahrzeug. Ferner bezieht sich die vorliegende Erfindung auf eine an Bord des Radmotor-Elektrofahrzeugs angeordnete Antriebssteuerungseinrichtung zur Steuerung der jeweiligen Fahrzeugantriebsmotoren.

Der Begriff "Elektrofahrzeug" ist ein allgemeiner Begriff für mittels Elektromotoren angetriebene Fahrzeuge. Elektrofahrzeuge können entsprechend der Art des Antriebsstrangs von den Fahrzeugantriebsmotoren zu den jeweiligen Antriebsrädern unterschieden werden in Einmotoren-Elektrofahrzeuge, in welchen die Ausgangsleistung eines gemeinsamen Motors mittels eines Differentialgetriebes und dergleichen auf die linken und rechten Antriebsräder übertragen wird, und in Radmotor-Elektrofahrzeuge, bei welchen ein Elektromotor an jedem Antriebsrad zum Antreiben des jeweiligen Rads entsprechend der Ansteuerung des Elektromotors vorgesehen ist. Das Radmotor-Elektrofahrzeug ist dem Einmotor-Elektrofahrzeug aus verschiedenen Gründen vorzuziehen. Ein wesentlicher, für das Radmotor-Elektrofahrzeug sprechender Grund ist derjenige, daß dieses Elektrofahrzeug lediglich eine klein dimensionierte Batterie zur Zuführung der Antriebsleistung zu den Elektromotoren erfordert, da Drehmomentübertragungseinrichtungen oder Drehmomentverteilungsmechanismen wie ein Differentialgetriebe nicht erforderlich sind, und der Energieverbrauch in folge der geringen Übertragungsverluste ebenfalls klein ist. Ein weiterer Vorteil des Radmotor-Elektrofahrzeugs besteht darin, daß die Fahrzeugantriebsmotoren klein ausgeführt werden können, da jeder Elektromotor lediglich ein zu diesem Elektromotor gehörendes Antriebsrad antreibt. Ein dritter Vorteil zugunsten des Radmotor-Elektrofahrzeugs besteht in einer vergrößerten Integrationsfähigkeit (vergrößerter Fahrgastraum), da die jeweiligen Fahrzeugantriebsmotoren innerhalb der jeweiligen Antriebsräder angeordnet werden können. Die Radmotor-Elektrofahrzeuge, bei welchen die jeweiligen Fahrzeugantriebsmotoren innerhalb des jeweiligen Antriebsrads angeordnet werden können, werden auch als Motor-In-Rad-Elektrofahrzeuge bezeichnet.

Ein weiterer Vorteil des Radmotor-Elektrofahrzeugs liegt darin, daß die Ausgangsleistung für jedes Antriebsrad jeweils separat steuerbar ist. Das in der japanischen Offenlegungsschrift JP 5-91607 offenbarte Radmotor-Elektrofahrzeug dient der Verbesserung der Geradeauslaufeigenschaften des Fahrzeugs unter Verwendung des vorstehend angegebenen vierten Vorteils. Insbesondere wird das aus der JP 5-91607 bekannte Radmotor-Elektrofahrzeug mit einer Antriebssteuerungseinrichtung zum getrennten Steuern der Drehzahlen der jeweiligen Fahrzeugantriebsmotoren ausgestattet. Die Antriebssteuerungseinrichtung sagt zuerst die Bewegung des Fahrzeugaufbaus unter Verwendung eines zuvor erstellten Fahrzeugbewegungsmodells voraus, wenn die zu erwartende Bezugsdrehzahl den jeweiligen Fahrzeugantriebsmotoren tatsächlich zugeführt wurde. Im einzelnen wird die Gierrate des Fahrzeugs um den Schwerpunkt des Fahrzeugaufbaus, d. h. die Winkelgeschwindigkeit des Fahrzeugaufbaus in der Gierrichtung auf der Basis der erfaßten Werte des Lenkwinkels, der Fahrzeuggeschwindigkeit und entsprechend dem Fahrzeugbewegungsmodell berechnet. In der JP 5-91607 wird der Unterschied zwischen der in der angegebenen Weise vorausgesagten Gierrate und der mittels eines Gierratensensors erfaßten Gierrate als Gierratenrauschen bezeichnet. Die in der JP 5-91607 offenbarte Antriebssteuerungseinrichtung führt eine korrigierte Bezugsdrehzahl zur Verminderung des Gierratenrauschens den jeweiligen Fahrzeugantriebsmotoren zu.

Das in der JP 5-91607 angegebene Gierratenrauschen ist ein Wert der durch Subtraktion nicht vorhersehbarer Fehlergrößen, wie Verschiebungen durch Unterschiede in den dynamisch belasteten Rädern der rechten und linken Reifen, Unterschiede zwischen den Belastungen der linken und rechten Räder, die Neigung und Welligkeit der Straße, die Windrichtung und dergleichen in den erfaßten Werten des Lenkwinkels und der Fahrgeschwindigkeit von der erfaßten Gierrate erhalten wird. Wird eine Geschwindigkeitssteuerung entsprechend der JP 5-91607 durchgeführt, dann kann ein Geradeauslauf eines Fahrzeugs gegenüber den vorstehend angegebenen jeweiligen Faktoren zusätzlich zur Differenz zwischen den dynamisch belasteten Rädern der linken und rechten Räder erzielt werden.

Die in der JP 5-91607 angegebene Steuerung ist jedoch sehr schwierig zu verwirklichen. Zum Halten und Verbessern des Geradeauslaufs bzw. der Geradeauslaufstabilität eines Fahrzeugs sollte die vorausgesagte Gierrate des Fahrzeugbewegungsmodells in Realzeit geschätzt werden, so daß das Verhalten des tatsächlichen Fahrzeugs genau wiedergegeben wird. Demgegenüber sind Elektrofahrzeuge in der Weise ausgelegt, daß die Drehzahl der Fahrzeugantriebsmotoren dynamisch innerhalb eines weiten Bereichs geändert werden können zum stetigen Umsetzen der Fahrgeschwindigkeit und der Beschleunigungs/Verzögerung oder dergleichen, wie sie von einem Fahrer gefordert wird, d. h. um diese Anforderungen zu realisieren, so daß der Fahrer kein unnatürliches Fahrgefühl empfindet. Folglich kann die Drehzahl der Fahrzeugantriebsmotoren und ferner die Fahrzeuggeschwindigkeit in weitem Bereich oder schnell bei Elektrofahrzeugen geändert werden. In einem derartigen Zustand entspricht die vorausgesagte Gierrate des Fahrzeugbewegungsmodells, die auf der Basis der erfaßten Fahrgeschwindigkeit geschätzt wurde, oftmals nicht der tatsächlichen Fahrgeschwindigkeit. Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die Steuerung von Elektromotoren über einen weiten Geschwindigkeitsbereich im allgemeinen schwierig ist, ist ferner davon auszugehen, daß die Verwirklichung und die Wirksamkeit der Aufrechterhaltung und Verbesserung der Geradeauslaufstabilität eines Fahrzeugs gemäß der Lehre der JP 5-91607 schwierig und sehr begrenzt ist.

Auch wenn die Geradeauslaufstabilität eines Fahrzeugs durch die in der JP 5-91607 angegebene Steuerung verbessert werden kann, kann eine gute Fahrsicherheit des Fahrzeugs nicht aufrechterhalten oder verbessert werden durch ledigliches Verbessern der Geradeauslaufstabilität des Fahrzeugs. Es liegen noch weitere wichtige Faktoren vor wie Faktoren, die die Fahrstabilität eines Fahrzeugs in den Fällen von Geschwindigkeitsänderungen, Kurvenfahrten und Fahrstreifenwechseln beeinflussen. Mit anderen Worten, zur Verwirklichung einer perfekten Fahrsicherheit ist eine Steuerung zur Aufrechterhaltung der Fahrstabilität des Fahrzeugs gegenüber

dem Auftreten von Schlupf während einer Geschwindigkeitsänderung, gegenüber dem Drehen während eines Kurvenfahrens oder gegenüber Übersteuerung/Untersteuerung bei einem Fahrstreifenwechsel erforderlich. Die in der JP 5-91607 offenbarte Steuerung gewährleistet jedoch keine Fahrstabilität des Fahrzeugs. Mit anderen Worten, die in der JP 5-91607 offenbarte Steuerung bezieht jedoch nicht die vorstehend angegebenen negativen Faktoren wie ein Schlupf während einer Geschwindigkeitsänderung ein, da Kurvenkräfte K_f und K_r als Konstante angenommen sind, wobei tatsächlich diese Größen in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit, der Beschleunigung und der Winkelgeschwindigkeit veränderlich sind.

Es ist daher eine erste Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Antriebssteuerungseinrichtung für ein Radmotor-Elektrofahrzeug derart auszugestalten, daß eine Verbesserung der Fahrzeugfahrstabilität gewährleistet ist. Bei der vorliegenden Erfindung wird die erste Aufgabe durch Verwenden eines Merkmals des Radmotor-Elektrofahrzeugs gelöst, wobei die Ausgangsleistung der jeweiligen Antriebsräder getrennt gesteuert werden kann, da für jedes Antriebsrad ein eigener Fahrzeugantriebsmotor vorgesehen ist. Eine zweite Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, ein Fahrzeug derart auszugestalten, daß eine hervorragende Geradeauslaufstabilität und Fahrstabilität im Vergleich zur JP 5-91607 gewährleistet ist, wobei verschiedene Kennlinien wie ein weiterer Geschwindigkeitsbereich und ein schnelles Ansprechen auf verschiedene Geschwindigkeitsänderungsanforderungen aufrechterhalten werden. Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch Bestimmen von Steuerungsparametern in der Weise, daß Geschwindigkeitsänderungen, Beschleunigungen, Verzögerungen und auf den Fahrzeugaufbau einwirkende Kräfte berücksichtigt werden. Es ist ferner eine dritte Aufgabe der Erfindung, eine einfache Steuerung der jeweiligen Fahrzeugantriebsmotoren bereitzustellen. Die dritte Aufgabe wird gelöst durch Einführung einer Drehmomentsteuerung anstelle einer Geschwindigkeitssteuerung (Drehzahlsteuerung), wie sie in der JP 5-91607 beschrieben ist. Es ist eine vierte Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine hervorragende Fahrstabilität über das Maß eines bekannten elektrisch angetriebenen Fahrzeugs, ohne Steuerung eines Bremsöldrucks oder einer Brennstoffeinspritzmenge, auf unterschiedliche Weise gegenüber dem Stand der Technik wie der Antriebsschlupfregelung (TRC, ASR) oder einem Bremsenantiblockiersystem (ABS), wie es in bekannten maschinenbetriebenen Fahrzeugen vorgesehen ist, zu gewährleisten, d. h. ohne Verwendung ausschließlicher Steuerungseinrichtungen oder hydraulischer Druckverteilungsmechanismen. Erfindungsgemäß wird die vierte Aufgabe mittels einer Ausgangsleistungssteuerung für jeden Fahrzeugantriebsmotor gelöst. Es ist ferner eine fünfte Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Antriebssteuerungseinrichtung derart auszugestalten, daß die Antriebssteuerungseinrichtung den Betrieb zur Verbesserung der Geradeauslaufstabilität und der Fahrstabilität eines Fahrzeugs ohne Manipulation des Fahrerpedals in unterschiedlicher Weise zu einer Antriebsschlupfregelung oder Antiblockierbremsenregelung bei konventionellen maschinenangetriebenen Fahrzeugen durchführt. Bei der erfindungsgemäßen Lösung der fünften Aufgabe wird die Steuerung unter Verwendung der Ausgangsdaten einer Fahrzeugzustandserfassungseinrichtung (üblicherweise einer Vielzahl von Sensoren) durchgeführt.

In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird eine Antriebssteuerungseinrichtung, die an Bord eines Radmotor-Elektrofahrzeugs vorgesehen ist, das zumindest ein Antriebsrad an der rechten Seite des Elektrofahrzeugs und zumindest ein Antriebsrad an der linken Seite des Elektrofahrzeugs aufweist. Die Antriebssteuerungseinrichtung bildet zuerst eine Einrichtung zur Durchführung einer Drehmomentsteuerung. Im einzelnen bildet die Antriebssteuerungseinrichtung eine Einrichtung zum sukzessiven Bestimmen eines Bezugsdrehmoments für jeden Fahrzeugantriebsmotor auf der Basis der Anforderungen durch den Fahrer und zur Steuerung des Ausgangsdrehmoments des betreffenden Fahrzeugantriebsmotors, wobei das vorbestimmte Bezugsdrehmoment als gewünschter Wert (Sollwert) betrachtet wird. Erfindungsgemäß kann die Energieausnutzung (Effektivität) verbessert werden, können die Batterie und jeweilige Fahrzeugantriebsmotoren in ihrer Größe vermindert werden, und die Raumausnutzung kann gegenüber konventionellen maschinenbetriebenen Fahrzeugen und Einmotor-Elektrofahrzeugen verbessert werden. Ferner ist die Steuerung der jeweiligen Fahrzeugantriebsmotoren einfacher als bei der in der JP 5-91607 offenbarten Steuerungseinrichtung.

Erfindungsgemäß ist ferner die Antriebssteuerungseinrichtung mit den folgenden Einrichtungen zur Verbesserung der Fahrstabilität des Fahrzeugs durch Steuern des Ausgangsdrehmoments jedes Fahrzeugantriebsmotors ausgestattet: einer Einrichtung zur direkten oder indirekten Erfassung der Beschleunigung oder einer Winkelbeschleunigung des Fahrzeugs, einer Einrichtung zur Erfassung von Untersteuerungs/Übersteuerungs-Kennlinien, einer Bezugsdrehmoment-Korrekturvorrichtung zur Korrektur des Bezugsdrehmoments auf der Basis der Beschleunigung oder einer Winkelbeschleunigung, so daß die Untersteuerungs/Übersteuerungs-Kennlinien in Richtung eines neutralen Lenkverhaltens versetzt werden, wenn die Untersteuerungs/Übersteuerungs-Kennlinien eine Tendenz zur Abweichung vom neutralen Lenkverhalten zeigen. Mit anderen Worten, die vorliegenden Ausführungsbeispiele verschieben die Untersteuerungs/Übersteuerungs-Kennlinien in Richtung eines neutralen Lenkverhaltens durch Korrigieren des Bezugsdrehmoments, d. h. des gewünschten Werts des Ausgangsdrehmoments für die jeweiligen Fahrzeugantriebsmotoren auf der Basis der Beschleunigung oder der Winkelbeschleunigung des Fahrzeugs, wenn die Untersteuerungs/Übersteuerungs-Kennlinien eine Tendenz zur Abweichung vom neutralen Lenkverhalten zeigen.

Jede der vorstehend angegebenen Beschleunigungen und Winkelbeschleunigungen wird durch Geschwindigkeitsänderungen, Kurvenfahrten und Fahrstreifenänderungen des Fahrzeugs bewirkt. Die Kurvenfahrstreifigkeit ist abhängig vom Produkt des Korrekturbetrags des Bezugsdrehmoments und seiner Ausgangsdauer. Folglich können Drehungen, Richtungsabweichungen und Radschlupf sowie Blockierungen beim Starten und Anhalten oder dergleichen oder verschiedene Instabilitätsarten, die diese Phänomene bewirken, vermindert oder mittels der vorstehend angegebenen Bezugsdrehmomentkorrektur beseitigt werden. Im Ergebnis kann die Fahrsicherheit einschließlich der Geradeauslaufstabilität und der Fahrstabilität gemäß der Beschreibung im vorliegenden Ausführungsbeispiel und speziell die Fahrzeugfahrstabilität im Vergleich zu derjenigen des Elektrofahrzeugs gemäß der JP 5-91607 verbessert werden. Bei Verwirklichung dieser Vorteile ist eine Steuerungs-

einrichtung oder ein Mechanismus zur Steuerung des Bremsöldrucks und der Brennstoffeinspritzmenge in unterschiedlicher Weise zu einer Antriebsschlupfregelung oder Bremsenantiblockiersteuerung oder dergleichen von konventionellen maschinenbetriebenen Fahrzeugen nicht erforderlich. Daher ist das vorliegende Ausführungsbeispiel preisgünstiger und belegt einen geringeren Raum als die Antriebsschlupfregelungen und ein Bremsenantiblockiersystem in konventionellen maschinenbetriebenen Fahrzeugen. Da das Bezugsdrehmoment auf der Basis der direkt oder indirekt erfaßten Beschleunigungen oder Verzögerungen korrigiert wird, wird ferner eine Steuerung durchgeführt, bevor der Fahrer eine Beschleunigung oder Verzögerung spürt. Dabei ist zu beachten, daß ein Bremsenantiblockiersystem eines konventionellen maschinenbetriebenen Fahrzeugs nicht arbeitet, bis ein Fahrer seinen Fuß von einem Beschleunigungspedal zu einem Bremspedal nach dem Gefühl einer Beschleunigung oder Verzögerung wechselt. Gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel wird die Bedienbarkeit des Fahrzeugs im Vergleich zu konventionellen Elektrofahrzeugen verbessert, da eine Steuerung entsprechend einer Antriebsschlupfregelung oder Bremsenantiblockiersteuerung oder dergleichen ohne Niederdrücken des Bremspedals durchgeführt wird, (d. h. während der Fahrer weiterhin das Beschleunigungspedal betätigt).

Bei dem zweiten bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung umfaßt die Bezugsdrehmoment-Korrekturvorrichtung eine Einrichtung zur Bestimmung eines Absolutwerts des Bezugsdrehmoment-Korrekturwerts, der vergrößert wird mit der Vergrößerung der Beschleunigung oder der Winkelbeschleunigung auf der Basis des erfaßten Werts der Beschleunigung oder der Winkelbeschleunigung, eine Einrichtung zur Bestimmung eines Vorzeichens des Bezugsdrehmoment-Korrekturwerts (beispielsweise eines Vorzeichens der Verstärkung zur Multiplikation durch den Absolutwert des Bezugsdrehmoment-Korrekturwerts) in Abhängigkeit von den Untersteuerungs/Übersteuerungs-Kennlinien, so daß das Bezugsdrehmoment für die äußeren Antriebsräder relativ nach einer Korrektur im Vergleich zu dem Drehmoment der inneren Antriebsräder im Falle einer Übersteuerung vermindert wird, und im Gegensatz dazu im Falle einer Untersteuerung vergrößert wird, und eine Einrichtung zum Addieren des Bezugsdrehmoment-Korrekturwerts zum Bezugsdrehmoment. Daher kann die Korrektur des Bezugsdrehmoments auf einfache Weise unabhängig von der Durchführung der Bestimmung des Absolutwerts und des Vorzeichens des Bezugsdrehmoment-Korrekturwerts erfolgen. Da der Absolutwert des Bezugsdrehmoment-Korrekturwerts nicht als ein konstanter Wert bestimmt ist, sondern sich mit der Vergrößerung der Beschleunigung oder der Winkelbeschleunigung vergrößert, ist es ferner möglich, auf schnelle und geeignete Weise eine Verschiebung der Untersteuerungs/Übersteuerungs-Kennlinien des Elektrofahrzeugs in Richtung eines neutralen Lenkverhaltens zu erzielen.

Ein drittes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung umfaßt eine Einrichtung zum Aussetzen bzw. Verzögern der Korrektur, wenn die Beschleunigung oder die Winkelbeschleunigung ausreichend klein sind. Ist somit die Beschleunigung oder die Winkelbeschleunigung des Fahrzeugs klein, dann wird angenommen, daß der Grad der Instabilität des Fahrzeugs infolge der Beschleunigung oder der Winkelbeschleunigung ebenfalls klein ist. Das Steuerungssystem kann in diesem Fall vereinfacht werden durch Aussetzen der Korrektur des Drehmomentbefehls. Ferner können derartige Gegenmaßnahmen ergriffen werden ohne Verwendung einer hydraulischen Steuerungseinheit, d. h. ohne zeitliche Verzögerung in der hydraulischen Übertragung im Unterschied zu Antriebsschlupfregelungen und Bremsenantiblockiersteuerungen und dergleichen, wie sie in konventionellen maschinenbetriebenen Fahrzeugen vorgesehen sind. Folglich treten infolge der zeitlichen Verzögerung des Steuerungssystems trotz der ausreichend kleinen Beschleunigung oder der Winkelbeschleunigung des Fahrzeugs keine derartigen Phänomene auf, da die Korrektur des Bezugsdrehmoments für eine Zeitdauer andauert.

Das vierte bevorzugte Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung umfaßt eine Einrichtung zur Erfassung von Schlupfverhältnissen der jeweiligen Antriebsräder und eine Einrichtung zum Aussetzen der Korrektur, wenn das Schlupfverhältnis des betreffenden Antriebsrads nicht ausreichend klein ist. Die Korrektur des Bezugsdrehmoments verursacht mehr oder weniger eine Diskrepanz zwischen der Radgeschwindigkeit (bei der vorliegenden Anmeldung als aus der Radgeschwindigkeit umgewandelte Fahrzeuggeschwindigkeit bezeichnet) und der Fahrzeugaufbaugeschwindigkeit (Karosserieschwindigkeit, in der vorliegenden Anmeldung als Fahrzeuggeschwindigkeit durch Mittelwerte der rechten und linken Radgeschwindigkeiten erhalten) in Abhängigkeit von den Bedingungen der Straßenoberfläche, in der Hauptsache in Abhängigkeit vom Reibungskoeffizienten. Wird daher die Korrektur des Bezugsdrehmoments ausgesetzt, wenn das Schlupfverhältnis eines Antriebsrads groß ist, dann kann das Auftreten des Schlupfs infolge der Korrektur des Bezugsdrehmoments unabhängig von den Straßenoberflächenbedingungen verhindert werden.

In den Unteransprüchen sind vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung gekennzeichnet.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild zur Veranschaulichung des funktionalen Aufbaus eines Fahrzeugs gemäß einem Ausführungsbeispiel,

Fig. 2 eine axiale Schnittansicht eines Antriebsrads einschließlich des Aufbaus eines Fahrzeugantriebsmotors,

Fig. 3 eine graphische Darstellung zur Veranschaulichung der Verteilung der Bremskraft,

Fig. 4 ein Blockschaltbild zur Veranschaulichung des funktionalen Aufbaus einer Fahrzeugsteuerungseinrichtung,

Fig. 5 eine graphische Darstellung zur Veranschaulichung eines Beispiels eines Drehmoment-/Drehzahl-Kennfelds,

Fig. 6 ein Blockschaltbild zur Veranschaulichung des funktionalen Aufbaus einer (Winkel-)Beschleunigungsdimensionen-Fehlerberechnungseinrichtung und einer Schlupfverhältnis-Berechnungseinrichtung,

Fig. 7 eine graphische Darstellung zur Veranschaulichung der Spurweite und anderer Größen,

Fig. 8 ein Blockschaltbild zur Veranschaulichung des funktionalen Aufbaus einer Rückkopplungsdrehmoment-Berechnungseinrichtung,

Fig. 9 eine graphische Darstellung zur Veranschaulichung des Verhaltens eines Fahrzeugs,
 Fig. 10 eine graphische Darstellung zur Veranschaulichung des Verhaltens eines Fahrzeugs,
 Fig. 11 eine graphische Darstellung zur Veranschaulichung eines Beispiels des Verhaltens eines konventionellen Fahrzeugs bei einem Fahrstreifenwechsel, insbesondere hinsichtlich der Zeitveränderungen der Steuerungsfehler im Vergleich zum vorliegenden Ausführungsbeispiel,

Fig. 12 eine graphische Darstellung zur Veranschaulichung des Verhaltens eines konventionellen Fahrzeugs bei einem Fahrstreifenwechsel, insbesondere hinsichtlich der Zeitveränderung des Bezugsdrehmoments im Vergleich zum vorliegenden Ausführungsbeispiel,

Fig. 13 eine graphische Darstellung zur Veranschaulichung des Verhaltens eines konventionellen Fahrzeugs bei einem Fahrstreifenwechsel, insbesondere im Hinblick auf einen zweidimensionalen Bewegungsort im Vergleich zum vorliegenden Ausführungsbeispiel,

Fig. 14 eine graphische Darstellung zur Veranschaulichung des Verhaltens eines Fahrzeugs gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel bei einem Fahrstreifenwechsel, insbesondere im Hinblick auf zeitliche Veränderungen eines Steuerungsfehlers,

Fig. 15 eine graphische Darstellung zur Veranschaulichung des Verhaltens eines Fahrzeugs gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel bei einem Fahrstreifenwechsel, insbesondere im Hinblick auf zeitliche Veränderungen des Bezugsdrehmoments, und

Fig. 16 eine graphische Darstellung zur Veranschaulichung des Verhaltens eines Fahrzeugs gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel bei einem Fahrstreifenwechsel, insbesondere im Hinblick auf einen zweidimensionalen Bewegungsort.

(1) Aufbau des Systems

Der Systemaufbau eines für ein Ausführungsbeispiel geeigneten Radmotor-Elektrofahrzeugs ist in Fig. 1 gezeigt. Bei diesem Elektrofahrzeug handelt es sich um ein Fahrzeug mit Hinterradantrieb. Dabei sind das rechte hintere Rad 10RR und das linke hintere Rad 10RL Antriebsräder, während das rechte vordere Rad 10FR und das linke vordere Rad 10FL mitlaufende Räder sind. Die Fahrzeugantriebsmotoren 12R und 12L sind innerhalb des jeweils entsprechenden rechten Hinterrads 10RR und linken Hinterrads 10RL angeordnet. Das zusammengebaute Rad ist in Fig. 2 gezeigt, wobei diese Figur auf das rechte Hinterrad 10RR als Beispiel bezogen ist. In Fig. 2 ist der Rotor 18 (Läufer) an der Innenseite des Rads 16 angeordnet und dreht sich zusammen mit dem Reifen 14. Ein Stator 24 (Ständer) ist an der Hinterachse 22 über eine Motorwelle 20 befestigt und ist mittels eines Lagers oder dergleichen mit dem Rotor 18 verbunden. Ferner ist ein Rotormagnet 26, bestehend aus einem Permanentmagneten, an der Innenwand des Rotors 18 in der Weise befestigt, daß er gegenüber dem Stator 24 in einem kleinen Abstand angeordnet ist. Des weiteren ist eine Statorwicklung 28 um den Stator 24 gewickelt. Eine Zuführungsleitung 30 zum Zuführen eines elektrischen Stroms zur Statorwicklung 28 ist mit der Statorwicklung 28 verbunden und durch die Motorwelle 20 in das Innere des Motors geführt. Gemäß dem vorstehend genannten Aufbau dreht sich der Rotor 18 und erzeugt eine Antriebskraft für das Fahrzeug, wenn über die Zuführungsleitung 30 der Statorwicklung 28 ein Wechselstrom zugeführt wird.

Eine in Fig. 1 gezeigte Batterie 32 dient als Antriebskraftquelle für die Motoren 12R und 12L. Ein aus der Batterie 32 entnommener Strom wird einerseits über einen Inverter 34R dem Motor 12R und andererseits über einen Inverter 34L dem Motor 12L zugeführt. Die Inverter 34R und 34L bilden elektrische Leistungswandler und wandeln den aus der Batterie 32 entladenen Strom (Gleichstrom DC) unter Steuerung durch die jeweiligen Motorsteuerungseinrichtungen 36R und 36L in einen für die Motoren 12R und 12L geeigneten Stromtyp (in Fig. 1 in einen dreiphasigen Wechselstrom) um. Die Motorsteuerungseinrichtung 36R steuert den betreffenden Inverter 34R in Abhängigkeit von einem Bezugsdrehmoment TR, das von der Fahrzeugsteuerungseinrichtung 38 ausgegeben wird, so daß der betreffende Motor 12R ein tatsächliches Drehmoment entsprechend dem Bezugsdrehmoment TR erzeugt. In gleicher Weise steuert die Motorsteuerungseinrichtung 36L den betreffenden Inverter 34L in Abhängigkeit von dem durch die Fahrzeugsteuerungseinrichtung 38 ausgegebenen Bezugsdrehmoment TL, so daß der betreffende Motor 12L ein tatsächliches Drehmoment entsprechend dem Bezugsdrehmoment TL erzeugt. Die Motorsteuerungseinrichtungen 36R und 36L weisen ferner die Funktion des Trennens der betreffenden Inverter 34R und 34L und der Fahrzeugsteuerungseinrichtung 38 durch Isolation auf. Eine Steuerung der Inverter 34R und 34L mittels der Motorsteuerungseinrichtungen 36R und 36L kann auf der Basis der in den jeweiligen Phasen der Motoren 12R und 12L fließenden Ströme durchgeführt werden, die mittels in der Figur nicht gezeigter Stromsensoren (Strommesser) erfaßt oder in Abhängigkeit von Rotordrehpositionen oder dergleichen geschätzt werden.

Die Fahrzeugsteuerungseinrichtung 38 dient als Steuerungseinheit mit den Funktionen der Ausgangsdrehmomentsteuerung der Motoren 12R und 12L, der Zustandsüberwachung und Steuerung der jeweiligen im Fahrzeug befindlichen Komponenten, der Übertragung der Fahrzeugbedingungen (Fahrzeugzustände) zu dem Bedienpersonal und dergleichen. Eine derartige Steuerungseinrichtung kann durch Ändern der Software (Programme) einer bekannten elektronischen Steuerungseinheit (Zentraleinheit) ECU verwirklicht werden. Ausgangssignale verschiedener Sensoren, die an unterschiedlichen Stellen im Fahrzeug angeordnet sind, werden der Fahrzeugsteuerungseinrichtung 38 zugeführt und zur Steuerung der Motorausgangsleistung und zur Überwachung der Fahrzeugzustände verwendet.

Beispielsweise umfassen Radgeschwindigkeitssensoren (Drehmelder, Resolver) 40RR und 40RL, die im rechten und linken Hinterrad (16 in Fig. 2) angeordnet sind, die Radgeschwindigkeiten VRR und VRL des rechten und linken Hinterrads. Die Fahrzeugsteuerungseinrichtung 38 bestimmt das Bezugsdrehmoment TR und TL unter Verwendung der Radgeschwindigkeiten VRR und VRL als Motordrehzahlinformation NR und NL. Im vorderen rechten und linken Rad angeordnete Radgeschwindigkeitssensoren 40FR und 40FL erfassen die

Radgeschwindigkeiten VFR und VFL. Die Fahrzeugsteuerungseinrichtung 38 berechnet die Fahrzeugaufbaugeschwindigkeit (Karosseriegeschwindigkeit) VS auf der Basis der Radgeschwindigkeiten VFR und VFL. Ein Beschleunigungssensor 42 erfaßt die Versetzung (Niederdrücken) des Beschleunigungspedals (das in der Figur nicht gezeigt ist), d. h. den Beschleunigungswinkel VA. Ein Bremsensensor 44 erfaßt die Versetzung eines Bremspedals 56 und erfaßt damit die Bremskraft FB. Ein Schaltpositionsschalter 46 erfaßt die Schaltstufe bzw. Fahrstufe (im Falle eines Maschinenbremsbereichs oder dergleichen die Schalthebelposition in diesem Bereich) eines in der Figur nicht gezeigten Schalthebels, d. h. die jeweils eingestellte Fahrstufe. Ein Lenkwinkelsensor 48 erfaßt den Lenkwinkel δ_t , der mit der Bewegung eines in der Figur nicht gezeigten Lenkrads veränderlich ist. Die Fahrzeugsteuerungseinrichtung 38 steuert den Fahrbetrieb des Fahrzeugs in Abhängigkeit von dem Willen des Fahrers durch Erzeugen unterschiedlicher Steuerungssignale einschließlich der Bezugsdrehmomente TR und TL auf der Basis des erfaßten Beschleunigungswinkels VA, der Bremskraft FB, der Schaltposition und des Lenkwinkels δ_t . Ein Gierratensensor 50, ein Längsbeschleunigungssensor 52 und ein Querschleunigungssensor 54 dienen zur Erfassung der Gierrate γ_t , der Längsbeschleunigung Gx oder der Querschleunigung Gy. Die erfaßten Werte werden für eine Fahrzeugssicherheitssteuerung verwendet, die nachstehend noch beschrieben wird. In diesem Fall benötigt die Fahrzeugsteuerungseinrichtung 38 nicht alle Ausgangssignale sämtlicher vorgesehener Sensoren. Es genügt dabei die Verwendung der Ausgangssignale ausgewählter Sensoren, um die erforderliche Steuerungsaufgabe durchzuführen. Ferner können Ausgangssignale weiterer, in der Figur nicht gezeigter Sensoren verwendet werden.

Bei dem in Fig. 1 gezeigten System wird ein Bremssystem wie ein hydraulisches Bremssystem für die Vorderräder verwendet, während ein regeneratives Bremsen (Bremsen mit Rückspeisung, Nutzbremse) für die Hinterräder verwendet wird. Drückt hierbei zuerst ein Fahrer das Bremspedal 56 nieder, dann wird im Hauptzylinder 58 ein hydraulischer Bremsdruck erzeugt. Der erzeugte hydraulische Bremsdruck wird rechten und linken Radbremszylindern 60R und 60L zugeführt und an rechte und linke Radbremsen 62R und 62L angelegt. Im Ergebnis tritt an den rechten und linken Vorderrädern 10FR und 10FL eine Bremskraft auf. Ferner erfaßt der Bremsensensor 44 den hydraulischen Druck im Hauptzylinder 58 als Bremskraft FB, und die Fahrzeugsteuerungseinrichtung 38 erzeugt die Bezugsdrehmomente TR und TL in einer Größe entsprechend der Bremskraft FB und entsprechend dem Nutzbremsbereich bzw. Rückgewinnungsbereich. Somit ist die Bremskraft des in Fig. 1 gezeigten Fahrzeugs verteilt, so daß sowohl die hydraulische Bremskraft als auch die Nutzbremskraft (Rückgewinnungsbremskraft) mit der Vergrößerung der Bremskraft FB ansteigen ("Pedaleingangsgröße" bei der horizontalen Achse) wie es in Fig. 3 dargestellt ist. Im Rahmen des vorliegenden Ausführungsbeispiels wird daher das Bremssystem in ein hydraulisches Bremssystem und ein Nutzbremssystem entsprechend dem Bremsensensor 44 aufgeteilt. Fällt somit entweder das hydraulische Bremssystem oder das Nutzbremssystem aus, dann ist es möglich, das Fahrzeug unter Verwendung des jeweils anderen Bremssystems abzubremsen. Da ferner mechanische Elemente wie ein Ventil, eine Pumpe und elektrische Systeme zum Antrieb und zur Steuerung der mechanischen Elemente im hydraulischen System nicht erforderlich sind, kann der Aufbau des Systems gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel vereinfacht werden.

Ein Grund dafür, daß mechanische Elemente wie ein Ventil oder eine Pumpe sowie elektrische Systeme zum Antrieb und zur Steuerung der mechanischen Elemente beim vorliegenden Hydrauliksystem nicht erforderlich sind liegt darin, daß das Pumpen von Bremsöl, das in bekannten Antiblockierbremssystemen und dergleichen unverzichtbar ist, hier nicht erforderlich ist, da die Fahrbetriebssicherheitssteuerung im Rahmen des vorliegenden Ausführungsbeispiels unter Verwendung der Steuerung des Ausgangsdrehmoments der Motoren 12R und 12L durchgeführt werden kann, wie es nachstehend noch beschrieben wird.

(2) Funktionen der Fahrzeugsteuerungseinrichtung

Eine Darstellung der Funktionen der Fahrzeugsteuerungseinrichtung 38 ist in Fig. 4 gezeigt. Eine Beschleunigungswinkel-Berechnungseinrichtung 100 gemäß Fig. 4 wandelt die Ausgangssignale des Beschleunigungssensors 42 in numerische Daten zur Angabe des Beschleunigungswinkels VA um. Eine Nutzbremskraft-Berechnungseinrichtung 102 wandelt die Ausgangssignale des Bremsensensors 44 in numerische Daten zur Angabe der Bremskraft FB um. In diesem Fall geben die Beschleunigungswinkel-Berechnungseinrichtung 100 und die Nutzbremskraft-Berechnungseinrichtung 102 eine Anpassung oder Veränderung der Umwandlungsergebnisse auf der Basis der mittels des Schaltpositionsschalters 46 erfaßten Schaltposition aus. Ein TN-Kennfeld 104 bildet ein Kennfeld zur Bestimmung der Kennlinie der Drehzahl gegenüber dem maximalen Ausgangsdrehmoment des Motors 12R, und ein TN-Kennfeld 106 bildet ein Kennfeld zur Bestimmung der Kennlinie der Drehzahl gegenüber dem maximalen Ausgangsdrehmoment des Motors 12L. Ein Beispiel der mittels der TN-Kennfelder 104 und 106 zu bestimmenden Kennlinien ist in Fig. 5 angegeben.

Ferner sind in Fig. 4 Schalter 108 und 110 zwischen einer Gruppe der TN-Kennfelder 104 und 106 und einer Gruppe der Beschleunigungswinkel-Berechnungseinrichtung 100 und der Nutzbremskraft-Berechnungseinrichtung 102 angegeben. Ein Schalter 108 bewirkt eine Umschaltung in Abhängigkeit vom Ausgangssignal des Beschleunigungssensors 42 zur Zuführung eines Signals des Beschleunigungswinkels VA zur Seite eines Schalters 110, wenn angenommen wird, daß der Fahrer das Beschleunigungspedal durchtritt, wobei der Zustand des Beschleunigungswinkels VA (Beschleunigungssensor EIN) bewertet wird, und zum Zuführen einer Bremskraft FB zur Seite des Schalters 110, wenn nicht angenommen wird, daß der Fahrer das Beschleunigungspedal betätigt (Beschleunigungssensor AUS). Selbstverständlich kann der Schalter 108 verwendet werden zum Umschalten in Abhängigkeit vom Ausgangssignal des Bremsensensors 44 zum Zuführen eines Signals der Bremskraft FB zur Seite des Schalters 110, wenn angenommen wird, daß der Fahrer das Bremspedal 56 niederdrückt und der Zustand der Bremskraft FB bewertet wird (Bremsensensor EIN), und zum Zuführen eines Signals des Beschleunigungswinkels VA zur Seite des Schalters 110, wenn nicht angenommen wird, daß der Fahrer das Bremspedal

56 niederdrückt (Bremsensensor AUS). Der Schalter 110 dient zum Umschalten des Bestimmungsorts für den Beschleunigungswinkel VA und die Bremskraft FB. Ein Zeitgeber 116 ist zur Steuerung des Umschaltens vorgesehen. Der Zeitgeber 116 erzeugt die Zeitsteuerung zur Berechnung des Bezugsdrehmoments TR mittels des TN-Kennfelds 104, auf der Basis des Beschleunigungswinkels VA und der Bremskraft FB, und die Zeitsteuerung zur Berechnung des Bezugsdrehmoments TL mittels des TN-Kennfelds 106 auf der Basis des Beschleunigungswinkels VA und der Bremskraft FB, wobei dies alternativ und mit einer vorgesehenen Geschwindigkeit erfolgt. Bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel wird die Berechnung der Drehmomentbefehle alternierend mittels eines Time Sharing-Verfahrens für die rechte und linke Seite durchgeführt.

Wurde beispielsweise ein Beschleunigungswinkel VA mittels der Schalter 108 und 110 zu dem TN-Kennfeld 104 übertragen, dann bestimmt die Fahrzeugsteuerungseinrichtung 38 das Bezugsdrehmoment TR durch Zuordnen des maximalen Antriebsdrehmoments (Werte im oberen Kurvenbereich gemäß Fig. 5) zur Drehzahl NR des rechten Hinterrads 10RR zu diesem Zeitpunkt im Verhältnis zum Wert des Beschleunigungswinkels VA. Wurde die Bremskraft FB dem TN-Kennfeld 104 mittels der Schalter 108 und 110 zugeführt, dann bestimmt die Fahrzeugsteuerungseinrichtung 38 das Bezugsdrehmoment TR durch Zuordnen des maximalen Nutzbremsdrehmoments (Werte im unteren Kurvenbereich gemäß Fig. 5) zur Drehzahl NR des rechten Hinterrads 10RR zu dem Zeitpunkt im Verhältnis zum Wert der Bremskraft FB. Die Bestimmung des Drehmomentbefehls TL kann unter Verwendung des TN-Kennfelds 106 in gleicher Weise wie die Bestimmung des Bezugsdrehmoments TR durchgeführt werden, wobei jedoch die Angaben zu Rechts und Links vertauscht sind. Die zur Bestimmung des Bezugsdrehmoments TR erforderliche Drehzahl NR wird mittels der rechten Hinterraddrehzahl-Berechnungseinrichtung 112 berechnet, und die zur Bestimmung des Bezugsdrehmoments TL erforderliche Drehzahl NL wird mittels der linken Hinterraddrehzahl-Berechnungseinrichtung 114 berechnet. Diese Berechnungen umfassen Berechnungen zur Umwandlung der Radgeschwindigkeiten VRR und VRL in Drehzahlen NR und NL unter Verwendung des Radius des Reifens 14.

Die mittels der TN-Kennfelder 104 und 106 bestimmten Bezugsdrehmomente TR und TL werden üblicherweise den Motorsteuerungseinrichtungen 36R und 36L ohne Veränderungen zugeführt. Sind jedoch gewünschte Bedingungen erfüllt, dann werden separat durch Berechnung erhaltene Rückkopplungsdrehmomente ΔTR und ΔTL jeweils zu den Bezugsdrehmomenten TR und TL unter Verwendung von Addierern 118 und 120 addiert, worauf die Ergebnisse der Addition, d. h. die Werte $TR + \Delta TR$ und $TL + \Delta TL$ den Motorsteuerungseinrichtungen 36R und 36L als modifizierte Bezugsdrehmomente TR und TL zugeführt werden. Eine Rückkopplungsdrehmoment-Berechnungseinrichtung 122, wie sie in Fig. 4 gezeigt ist, berechnet die Rückkopplungsdrehmomente ΔTR und ΔTL auf der Basis der EIN/AUS-Signale des Beschleunigungssensors, des Vorzeichens des Lenkwinkels δt (Kurvenfahrrichtung), und einer Fehlerinformation E, wenn die Fehlerinformation E und Schlupfverhältnisse SR und SL des rechten und linken Hinterrads vorbestimmte Bedingungen erfüllen, und es erfolgt die Ausgabe der berechneten Rückkopplungsdrehmomente ΔTR und ΔTL während der erforderlichen Zeitdauer. Die Fehlerinformation E wird mittels einer (Winkel) Beschleunigungsdimensions-Fehlerberechnungseinrichtung berechnet. Eine Schlupfverhältnis-Berechnungseinrichtung 123 berechnet die Schlupfverhältnisse SR und SL.

(3) Einzelheiten der Funktionen der Fahrzeugsteuerungseinrichtung

Der funktionale Aufbau der (Winkel) Beschleunigungsdimensions-Fehlerberechnungseinrichtung 124 und der Schlupfverhältnis-Berechnungseinrichtung 126 ist in Fig. 6 gezeigt. Die (Winkel) Beschleunigungsdimensions-Fehlerberechnungseinrichtung 124 umfaßt eine Karosserieschwindigkeits-Berechnungseinrichtung 128, eine Modellquerbeschleunigungs-Berechnungseinrichtung 130 und einen Addierer 132. Die Schlupfverhältnis-Berechnungseinrichtung 126 umfaßt eine rechte Hinterradschlupfverhältnis-Berechnungseinrichtung 124 und eine linke Hinterradschlupfverhältnis-Berechnungseinrichtung 136. Zuerst berechnet die Karosserieschwindigkeits-Berechnungseinrichtung 128 die Karosserieschwindigkeit VS, die erforderliche ist zum Erhalten der Modellquerbeschleunigung V_y^* und der Schlupfverhältnisse SR und SL gemäß den nachfolgenden Gleichungen,

$$\begin{aligned} VS &= (VFR + VFL - \cos \delta t \cdot \gamma t \cdot \text{SPURWEITE})/2 \text{ .bei Lenkung nach links } (\delta t \geq 0), \\ VS &= (VFR + VFL - |\cos \delta t \cdot \gamma t \cdot \text{SPURWEITE}|)/2 \text{ .bei Lenkung nach rechts } (\delta t < 0) \end{aligned} \quad (1),$$

wobei SPURWEITE die in Fig. 7 gezeigte Spurweite bezeichnet. Der Ausdruck $(VFR + VFL)/2$ in Gleichung (1) ist ein Ausdruck zum Erhalten der durchschnittlichen Radgeschwindigkeit des rechten und linken Vorderrads. Der verbleibende Ausdruck ist ein Ausdruck zur Vermeidung des Einflusses der Gierrate γt .

Die Modellquerbeschleunigungs-Berechnungseinrichtung 130 berechnet die Modellquerbeschleunigung V_y^* unter Verwendung der nachfolgenden Gleichung,

$$V_y^* = [\gamma t - VS \cdot \delta t / (L \cdot (1 + A \cdot VS^2))] \cdot VS \quad (2),$$

wobei L den Radstand und A ein Stabilitätsfaktor ist, der zuvor während eines Kurvenfahrttests erhalten wurde. Der Addierer 132 addiert die Fehlerinformation $E = V_y^* - G_y$ durch Subtrahieren der Querbeschleunigung G_y von der Modellquerbeschleunigung V_y^* und führt die berechnete Fehlerinformation E der Rückkopplungsdrehmoment-Berechnungseinrichtung 122 zu.

Die rechte Hinterradschlupfverhältnis-Berechnungseinrichtung 134 und die linke Hinterradschlupfverhältnis-Berechnungseinrichtung 136 berechnen die Schlupfverhältnisse SR und SL unter Verwendung der nachfolgenden Gleichungen,

$$SR = |(VRR - VS)/VS|,$$

$$SL = |(VRL - VS)/VS| \quad (3),$$

worauf die Schlupfverhältnisse SR und SL der Rückkopplungsdrehmoment-Berechnungseinrichtung 122 zugeführt werden.

5 Ein funktionaler Aufbau der Rückkopplungsdrehmoment-Berechnungseinrichtung ist in Fig. 8 gezeigt.

Die Rückkopplungsdrehmoment-Berechnungseinrichtung 122 umfaßt einen Fehlerdiskriminator 138, einen Verhaltensdiskriminator 140, eine Verhaltensberechnungseinrichtung 142 und einen Schlupfverhältnisdiskriminator 144.

10 Der Fehlerdiskriminator 138 umfaßt eine Absolutwert-Berechnungseinrichtung 146 zur Berechnung der Absolutwerte $|E|$ der Fehlerinformation E, einen Schalter 148 zum Zuführen der Fehlerinformation E zum Verhaltensdiskriminator 140, wenn der Absolutwert $|E|$ einen vorbestimmten Bezugswert ES überschreitet, und Rückkopplungsdrehmoment-Rücksetzeinrichtungen 150 und 152 zum zwangsläufigen Rücksetzen der Rückkopplungsdrehmomente ΔTR und ΔTL auf Null. Ist somit der Absolutwert $|E|$ ausreichend klein, dann wird angenommen, daß sich das Fahrzeug in einem ausreichend stabilen Fahrzustand befindet. In diesem Fall wird 15 eine Korrektur der Bezugsdrehmomente TR und TL mittels der Rückkopplungsdrehmomente ΔTR und ΔTL beendet oder nicht durchgeführt.

Der Verhaltensdiskriminator 140 umfaßt einen Multiplizierer 154 und drei Schalter 156, 158 und 160. Der Multiplizierer 154 berechnet ein Produkt $(E \cdot \delta t)$ der Fehlerinformation E und des Lenkwinkels δt . Der Schalter 156 führt die Fehlerinformation dem Schalter 158 zu, wenn gilt $(E \cdot \delta t) < 0$, und führt die Information E dem 20 Schalter 160 zu, wenn gilt $(E \cdot \delta t) \geq 0$. Die Schalter 158 und 160 bewirken eine Umschaltung zu dem Bestimmungsort für die Fehlerinformation E jeweils in Abhängigkeit vom EIN/AUS-Zustand des Beschleunigungssensor. Somit bestimmt der Verhaltensdiskriminator 140 das gegenwärtige Verhalten des Fahrzeugs entsprechend den nachfolgenden drei Punkten gemäß der linken Hälfte der Tabelle 1: Vorzeichen der Fehlerinformation E (Art des Auftretens des Steuerungsfehlers), Vorzeichen des Lenkwinkels (Lenkrichtung des Fahrzeugs) und 25 EIN/AUS-Zustand des Beschleunigungssensors (Antriebszustand oder Nutzbremsung).

Tabelle 1

Fahrzeugzustand	Steuerungsrichtung				
	δt	E	Übersteuerungs- Untersteuerungs- Kennlinien	ΔTR	ΔTL
Antrieb	+	+	Übersteuerung	-	+
	+	-	Untersteuerung	+	-
	-	+	Untersteuerung	-	+
	-	-	Übersteuerung	+	-
Bremsen	+	+	Übersteuerung	+	-
	+	-	Untersteuerung	-	+
	-	+	Untersteuerung	+	-
	-	-	Übersteuerung	-	+

Die Verhaltensberechnungseinrichtung 142 bestimmt das Rückkopplungsdrehmoment ΔTR und ΔTL auf der Basis der jeweiligen nachfolgenden Gleichung entsprechend dem Unterscheidungsergebnis durch den Verhaltensdiskriminator 140,

$$\Delta TR = +GR1 \cdot f(E), \Delta TL = -GL1 \cdot f(E) \dots \text{für } E \cdot \delta t < 0 \text{ und Beschlsensor EIN,}$$

$$\Delta TR = \omega GR2 \cdot f(E), \Delta TL = +GL2 \cdot f(E) \dots \text{für } E \cdot \tau < 0 \text{ und Beschlsensor AUS,}$$

$$\begin{aligned}\Delta TR &= -GR1 \cdot f(E), \Delta TL = +GL1 \cdot f(E) \dots \text{für } E \cdot \delta t \geq 0 \text{ und Beschl.sensor EIN,} \\ \Delta TR &= +GR2 \cdot f(E), \Delta TL = -GL2 \cdot f(E) \dots \text{für } E \cdot \delta t \geq 0 \text{ und Beschl.sensor AUS} \quad (4).\end{aligned}$$

Ferner ist es wünschenswert, daß die Funktion $f(E)$ eine monoton ansteigende Funktion der Fehlerinformation E ist, beispielsweise $\exp(E)$. Sämtliche Verstärkungen $GR1$, $GL1$, $GR2$ und $GL2$ in den vorstehend angegebenen Gleichungen umfassen positive Werte. 5

Die Rückkopplungsdrehmomente ΔTR und ΔTL werden in Abhängigkeit vom Vorzeichen von $E \cdot \delta t$ und dem EIN/AUS-Zustand des Beschleunigungssensors zur Durchführung der nachfolgenden Steuerung bestimmt. Führt das Fahrzeug eine Kurvenfahrt nach links durch ($\delta t > 0$), und erfolgt ein Antrieb gemäß Fig. 9 ($TR > 0$ und $TL > 0$), und ist die Querschleunigung G_y der Karosserie kleiner als die Modellquerschleunigung V_y^* ($E > 0$), dann wird von den Übersteuerungs-Untersteuerungs-Kennlinien angenommen, daß eine Versetzung in Richtung einer Übersteuerung erfolgt. Zur Rückkehr zu einem neutralen Lenkverhalten sollte das Ausgangsdrehmoment in Richtung eines innenseitigen Antriebsrads, in diesem Fall des linken Hinterrads 10RL vergrößert werden, und das Antriebsdrehmoment eines außenseitigen Antriebsrads, im vorliegenden Fall des rechten Hinterrads 10RR sollte vermindert werden. Bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel wird unter der Bedingung, daß sich der Beschleunigungssensor im EIN-Zustand befindet und $E > 0$ und $\delta t > 0$ gilt, angenommen, daß das Rückkopplungsdrehmoment ΔTR ein negativer Wert und das Rückkopplungsdrehmoment ΔTL ein positiver Wert ist. Führt sodann das Fahrzeug eine Kurvenfahrt nach links durch ($\delta t > 0$) während eines Fahrens mit Nutzbremsung ($TR < 0$ und $TL < 0$) gemäß Fig. 10, und ist die Querschleunigung G_y der Fahrzeugkarosserie kleiner als die Modellquerschleunigung V_y^* ($E > 0$), dann wird von den Übersteuerungs-Untersteuerungs-Kennlinien angenommen, daß eine Versetzung in Richtung einer Übersteuerung erfolgt. Zur Rückkehr von diesem Zustand zu einem Zustand mit neutralem Lenkverhalten sollte das Ausgangsnutzdrehmoment eines innenseitigen Antriebsrads, im vorliegenden Fall des linken Hinterrads 10RL vermindert werden und das Ausgangsnutzdrehmoment eines außenseitigen Antriebsrads, im vorliegenden Fall des rechten Hinterrads 10RR vergrößert werden. Gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel wird daher bei dem AUS-Zustand des Beschleunigungssensors und unter der Bedingung von $E > 0$ und $\delta t > 0$ angenommen, daß das Rückkopplungsdrehmoment ΔTR ein positiver Wert und das Rückkopplungsdrehmoment ΔTL ein negativer Wert ist. Die Vorzeichen der Rückkopplungsdrehmomente ΔTR und ΔTL sind unterschiedlich zu denjenigen des in Fig. 9 gezeigten Falls, da das Nutzdrehmoment (regeneratives Drehmoment) ein negatives Drehmoment ist, und eine Vergrößerung des Nutzdrehmoments eine Verkleinerung des Bezugsdrehmoments bedeutet, und eine Verkleinerung des Nutzdrehmoments eine Vergrößerung des Bezugsdrehmoments bedeutet. 10 15 20 25 30

Eine Darstellung zur Bestimmung der Rückkopplungsdrehmomente ΔTR und ΔTL durch die Verhaltensberechnungseinrichtung 142 ist in der rechten Hälfte von Tabelle 1 zusammengefaßt. Wie der linken Hälfte der Tabelle 1 entnommen werden kann, befindet sich das Fahrzeug in einem Übersteuerungszustand, wenn das Vorzeichen der Fehlerinformation E mit demjenigen des Lenkwinkels δt übereinstimmt, und das Fahrzeug befindet sich in einem Untersteuerungszustand, wenn das Vorzeichen der Fehlerinformation E nicht mit demjenigen des Lenkwinkels δt übereinstimmt. Der Verhaltensdiskriminator 140 unterscheidet daher die Übereinstimmung beider Vorzeichen auf der Basis des Vorzeichens des Produkts $E \cdot \delta t$. 35

Die mittels der Verhaltensberechnungseinrichtung 142 bestimmten Rückkopplungsdrehmomente ΔTR und ΔTL oder die Rückkopplungsdrehmomente ΔTR und ΔTL , die mittels des Fehlerdiskriminators 138 zwangsläufig auf Null zurückgesetzt wurden, werden Addieren 118 und 120 über den Schlupfverhältnisdiskriminator 144 zugeführt. Der Schlupfverhältnisdiskriminator 144 umfaßt einen Schalter 164 zum zwangsläufigen Rücksetzen des Rückkopplungsdrehmoments ΔTR auf Null, wenn die Bedingung $SR > SS$ vorliegt (wobei SS ein vorbestimmter Bezugswert ist), und einen Schalter 166 zum zwangsläufigen Rücksetzen des Rückkopplungsdrehmoments ΔTL auf Null, wenn die Bedingung $SL > SS$ vorliegt. Der Grund des Rücksetzens des Rückkopplungsdrehmoments auf Null, wenn das Schlupfverhältnis groß ist, liegt darin, daß die Addition und Subtraktion des Rückkopplungsdrehmoments zum Bezugsdrehmoment einen Schlupf verursachen kann. Im Rahmen des vorliegenden Ausführungsbeispiels wird die Erzeugung eines Schlupfs infolge der Korrektur des Bezugsdrehmoments TR und TL durch die Berücksichtigung eines Schlupfverhältnisdiskriminators 144 verhindert. 40 45 50

(4) Vorteile der vorliegenden Erfindung

Bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel wird ein Radmotor-Elektrofahrrad mit einer großen Fahrsicherheit verwirklicht im Vergleich zu einem Elektrofahrzeug ohne Fahrsicherheitssteuerungseinrichtung und einem Radmotor-Elektrofahrrad entsprechend der Offenbarung in der JP 5-91607, d. h. im Vergleich zu einem Elektrofahrzeug, bei dem jegliche Gegenmaßnahmen zur Sicherstellung der Fahrsicherheit während des Kurvenfahrens oder dergleichen im Unterschied zum vorliegenden Ausführungsbeispiel fehlen. Beispielsweise zeigt ein nicht mittels des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung gesteuertes Elektrofahrzeug bei einem Fahrstreifenwechsel das in den Fig. 11 bis 13 angegebene allgemeine Verhalten. Im Gegensatz dazu zeigt ein Elektrofahrzeug gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel das in den Fig. 14 bis 16 angegebene Verhalten. Es ist für den auf dem Gebiet tätigen Fachmann erkennbar, daß bei den zuletzt angegebenen Figuren eine höhere Fahrstabilität vorliegt als bei den zuvor angegebenen Figuren. Die Fig. 11 und 14 zeigen die Änderung der Fehlerinformation E (die mittels des Verfahrens des vorliegenden Ausführungsbeispiels bestimmt ist) im Verlauf der Zeit in dem Fall der Durchführung von Fahrstreifenwechseln. Die Fig. 12 und 15 zeigen Änderungen des Bezugsdrehmoments im Verlauf der Zeit im Fall der Durchführung von Fahrstreifenwechseln. Ferner zeigen die Fig. 13 und 16 zweidimensionale Änderungen der Fahrzeugposition (Fahrzeugort). Ein sicheres Fahren beim Kurvenfahren bei Geschwindigkeitsänderungen beim Auftreten von Schlupf oder dergleichen kann aufrechterhalten und verbessert werden. 55 60 65

Einer der Gründe für die vorstehend angegebenen Vorteile ist die Bestimmung der Rückkopplungsdrehmomente ΔTR und ΔTL unter Verwendung der Fehlerinformation E mit einer Dimension der (Winkel)Beschleunigung eines Fahrzeugs. Gemäß der JP 5-91607 ist es schwierig, die Fahrstabilität eines Fahrzeugs beim Kurvenfahren oder dergleichen aufrechtzuerhalten, da die Winkelbeschleunigung des Fahrzeugs nicht beachtet wird. Dem gegenüber ist gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel mit einfachen Mitteln eine Fahrstabilität gewährleistet. Ferner ist eine gute Steuerung der Fahrstabilität möglich infolge der vorgesehenen Drehmomentsteuerung anstelle einer Geschwindigkeitssteuerung für einen Notor. Da ferner eine Steuerung bezüglich der Winkelbeschleunigungsdimensionen gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel durchgeführt wird, kann eine Geradeausfahrstabilität eines Fahrzeugs auch unter den Bedingungen aufrechterhalten, bei denen die Gefahr einer Verschlechterung des Geradeauslaufs gegeben ist, beispielsweise bei einer Straße mit unterschiedlichem Reibungskoeffizienten, wobei die Reibungskoeffizienten der rechten und linken Straßenoberfläche unterschiedlich sind.

Ferner ist ein Elektrofahrzeug gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel vorteilhaft gegenüber einem maschinengetriebenen Fahrzeug und einem einmotorigen Elektrofahrzeug. Da beispielsweise eine gesonderte Steuerungseinheit und ein hydraulisches Steuerungssystem für eine Antriebsschlupfregelung und ein Antiblockierbremsystem gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel nicht erforderlich sind, kann bei dem Elektrofahrzeug gemäß dem Ausführungsbeispiel kostengünstig die Fahrsicherheit des Fahrzeugs im Vergleich zu maschinenangetriebenen Fahrzeugen mit etwa dem gleichen Fahrsicherheitsstandard des Fahrzeugs erzielt werden. Da ferner die Steuerung zum Addieren der Rückkopplungsdrehmomente ΔTR und ΔTL vor einer Betätigung eines Pedals beginnt, sind Schwingungen bei der Pedalbetätigung durch den Fahrer vermindert. Somit ist auch die Bedienbarkeit des Fahrzeugs verbessert. Ferner sind die vorstehend angegebenen Vorteile eines Radmotor-Elektrofahrzeugs im Vergleich zu einem einmotorigen Elektrofahrzeug nach wie vor gegeben. Da ferner das Bremssystem aufgeteilt ist in ein hydraulisches Bremssystem für die Vorderräder und ein Nutzbremssystem (regeneratives Bremssystem) für die Hinterräder, weist das Bremssystem jeweils einen einfachen Aufbau im Vergleich zu den Bremssystem bekannter Elektrofahrzeuge auf, wie es vorstehend angegeben ist.

(5) Bemerkungen

Beim vorliegenden Ausführungsbeispiel wird die Größe $V\gamma^* - G\gamma$ als Fehlerinformation E verwendet. Ferner können Größen wie $VS \cdot d\beta/dt$ ($= G\gamma - VS \cdot \gamma t$, wobei β ein Schlupfwinkel und t die Zeit ist) und $VS \cdot \gamma t$, $d\gamma/dt$ ebenfalls als Fehlerinformation E verwendet werden. Da diese Größen jeweils Vor- und Nachteile aufweisen, ist es erforderlich, die jeweilige Größe in Abhängigkeit von der beabsichtigten Verwendung auszuwählen.

Beispielsweise kennzeichnet die Größe $(V\gamma^* - G\gamma)$ schnell die Bewegung eines Fahrzeugs. Die Größe $(VS \cdot d\beta/dt)$ bezieht sich auf eine hohe Erfassungsempfindlichkeit und hohe Genauigkeit. Ein Stabilitätsfaktor A (d. h. eine vorläufige Messung eines Stabilitätsfaktors A) ist zur Berechnung der Größe $VS \cdot d\beta/dt$ nicht erforderlich. Die Größe $(VS \cdot \gamma t)$ kennzeichnet schnell die Bewegung eines Fahrzeugs und erfordert keine Berechnung des Stabilitätsfaktors A, wobei die Änderung des Sensorausgangssignals klein ist. Die Größe $(d\gamma/dt)$ erfordert zur Berechnung nicht den Stabilitätsfaktor A. Die Größe $(d\beta/dt)$ kann aus der Karosserieschwindigkeit VS, der Gierrate γt und der Querschleunigung $G\gamma$ berechnet werden.

Bei dem vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel wird die Karosserieschwindigkeit VS aus den einzelnen Radgeschwindigkeiten der Vorderräder VFR und VFL, dem Lenkwinkel δt und der Gierrate γt berechnet, wobei die Erfindung jedoch nicht auf dieses Verfahren beschränkt ist. Beispielsweise kann die Karosserieschwindigkeit VS aus den Radgeschwindigkeiten der Vorderräder VFR und VFL und den Radgeschwindigkeiten der Hinterräder VRR und VRL, der Längsbeschleunigung Gx und dem Lenkwinkel δt oder aus der Längsbeschleunigung Gx und den Radgeschwindigkeiten der Hinterräder VRR und VRL berechnet werden.

Sind die Ausgangskennlinien des rechten und linken Fahrzeugantriebsmotors die gleichen, dann können ferner TN-Kennfelder gemeinsam in den jeweiligen Fahrzeugantriebsmotoren verwendet werden. Auch wenn die Ausgangskennlinien des rechten und linken Fahrzeugantriebsmotors nicht die gleichen sind, können TN-Kennfelder gemeinsam verwendet werden durch Berücksichtigen eines Verfahrens, bei dem ein TN-Kennfeld ausgewählt wird, das für jeden der rechten und linken Fahrzeugantriebsmotoren geeignet ist, und wobei das entsprechende Ergebnis des TN-Kennfelds mit dem Verhältnis der linken und rechten Ausgangsdrehmoment-Kennlinien multipliziert wird, wenn ein Drehmomentbefehl für einen anderen Fahrzeugantriebsmotor berechnet wird.

Das vorliegende Ausführungsbeispiel beschreibt die Antriebssteuerung für Elektrofahrzeuge bei einer Anwendung bei einem Elektrofahrzeug mit Hinterradantrieb. Die Antriebssteuerung für Elektrofahrzeuge kann ebenso bei einem Elektrofahrzeug mit Vorderradantrieb und bei einem Elektrofahrzeug mit Vierradantrieb verwendet werden. Es ist für einen Fachmann auf diesem Gebiet ersichtlich, daß für die Anwendung des Verfahrens bei einem Elektrofahrzeug mit Vorderradantrieb der jeweilige Ausdruck "Vorderräder" durch den Ausdruck "Hinterräder" ersetzt wird. Bei der Anwendung der Antriebssteuerung für Elektrofahrzeuge in einem Fahrzeug mit Vierradantrieb ist der Übergang auf dieses Verfahren ebenfalls für den Fachmann auf diesem Gebiet verständlich, obwohl Änderungen der Gleichungen zur Berechnung der Karosserieschwindigkeit VS und dergleichen, und Änderungen der Anzahl der Betriebsarten der vorzusehenden Inverter erforderlich sind. Das vorstehend angegebene Ausführungsbeispiel zeigt die Antriebssteuerung für Elektrofahrzeuge in Verbindung mit einem permanent erregten Dreiphasen-Wechselstrommotor vom Radmotortyp, wobei die Antriebssteuerung für Elektrofahrzeuge auch in Verbindung mit anderen Typen von Motoren (Radmotortyp oder andere Typen) Erregungsverfahren und Antriebsleistungstypen (Wechselstrom oder Gleichstrom, Phasenanzahl im Falle der Zufuhr von Wechselstrom, usw.) verwendet werden kann.

Beim vorliegenden Ausführungsbeispiel wurden Blockschaltbilder zur Darstellung verwendet. Dies dient

lediglich der Erklärung des Aufbaus und der Funktionen und bedeutet keine Beschränkung der vorliegenden Erfindung auf die entsprechenden Bauelemente. Im Rahmen der Beschreibung der Funktionen der Fahrzeugsteuerungseinrichtung 38 sind einige Teile der Signalübertragung und Verarbeitung der von der Vielzahl der Sensoren aus gegebenen Ausgangssignale zur Vereinfachung der Darstellung weggelassen. Bei der Verwendung eines Radgeschwindigkeitssensors (Raddrehzahlsensor) mit Pulsausgangssignal ist es in der Praxis erforderlich, die Verarbeitung wie das Zählen der Ausgangspulse zum Umwandeln der Anzahl der Pulse in die Radgeschwindigkeit oder die Raddrehzahl durchzuführen. Ferner sind die folgenden Teile in der Praxis in einem Fahrzeug vorhanden: eine zusätzliche Batterie (Hilfsbatterie) zum Zuführen von Antriebsleistung zur Fahrzeugsteuerungseinrichtung 38 und anderen an Bord des Fahrzeug befindlichen elektrischen Geräten, einen Gleichspannungs/Gleichspannungs-Umwandler (DC/DC-Wandler) zum Laden der Hilfsbatterie durch umwandeln der Ausgangsspannung einer Hauptbatterie in eine niedrigere Spannung, einen Schaltkasten zur Bewirkung elektrischer Verbindungen zwischen der Vielzahl der an Bord des Fahrzeugs befindlichen elektrischen Bauelemente einschließlich der Motoren und weiterer Hilfseinrichtungen, eine Funktion zur Erfassung und Steuerung des Ladezustands (SOC, state of charge) der Hauptbatterie, eine Funktion zur Erfassung einer Abnormalität und zur Verhinderung von Fehlern in verschiedenen an Bord des Fahrzeugs befindlichen Bauelementen, eine Einrichtung zum Laden der Hauptbatterie entsprechend einer Leistungszufuhr durch eine äußere elektrische Leistungsquelle, eine Funktion zum Ausgeben eines Alarms und zur Anzeige des selben an den Fahrer und dergleichen. Zur Vereinfachung der Darstellung sind die vorstehend angegebenen Bauteile und Funktionen weggelassen.

Die Winkel-Beschleunigungsdimensions- Fehlerberechnungseinrichtung berechnet somit eine Fehlerinformation mit einer Dimension der Winkelbeschleunigung einer Fahrzeugkarosserie. Die Rückkopplungs-Berechnungseinrichtung berechnet Rückkopplungsdrehmomente ΔTR und ΔTL auf der Basis der Fehlerinformation in Abhängigkeit vom Vorzeichen des Lenkwinkels δt und der Fehlerinformation und dem EIN/AUS-Zustand eines Beschleunigungssensors, wenn Schlupfverhältnisse SR und SL von Antriebsrädern klein sind. Die Fahrzeugsteuerungseinrichtung 38 korrigiert Bezugsdrehmomente TR und TL in Abhängigkeit vom Beschleunigungswinkel (Beschleunigungspedalstellung) und einer Bremskraft FB mittels der Rückkopplungsdrehmomente ΔTR und ΔTL , und gibt die korrigierten Bezugsdrehmomente an jeweilige Motorsteuerungseinrichtung 36R und 36L aus, wobei die Fahrsicherheit des Fahrzeugs verbessert wird.

Patentansprüche

1. Antriebssteuerungseinrichtung (38), die in einem Elektrofahrzeug vorgesehen ist mit zumindest einem Antriebsrad (10RR, 10RL) an einer rechten Seite und zumindest einem Antriebsrad an einer linken Seite des Elektrofahrzeugs und einem Fahrzeugantriebsmotor (12R, 12L) für jedes Antriebsrad, wobei die Antriebssteuerungseinrichtung (38) umfaßt:
 - eine Einrichtung (104, 106) zur Bestimmung eines Bezugsdrehmoments als Bezugswert des Ausgangsdrehmoments der Fahrzeugantriebsmotoren für jeden Fahrzeugantriebsmotor auf der Basis der Anforderungen durch den Fahrer,
 - eine Einrichtung (54) zum direkten oder indirekten Erfassen der Beschleunigung oder Winkelbeschleunigung des Elektrofahrzeugs,
 - eine Einrichtung (104) zur Erfassung von Übersteuerungs/Untersteuerungs-Kennlinien des Elektrofahrzeugs, und
 - eine Bezugsdrehmoment-Korrekturereinrichtung (118, 120, 142) zur Korrektur des Bezugsdrehmoments auf der Basis der Beschleunigung oder der Winkelbeschleunigung, so daß die Übersteuerungs/Untersteuerungs-Kennlinien in Richtung des Zustands eines neutralen Lenkverhaltens verschoben werden, wenn die Übersteuerungs/Untersteuerungs-Kennlinien eine Tendenz zur Abweichung vom Zustand neutralen Lenkverhaltens zeigen.
2. Antriebssteuerungseinrichtung nach Anspruch 1, wobei die Bezugsdrehmoment-Korrekturereinrichtung umfaßt:
 - eine Einrichtung (142) zur Bestimmung eines Absolutwerts eines Bezugsdrehmoment-Korrekturwerts in der Weise, daß der Absolutwert mit einer Vergrößerung der Beschleunigung oder der Winkelbeschleunigung vergrößert wird,
 - eine Einrichtung (142) zur Bestimmung des Vorzeichens des Bezugsdrehmoment-Korrekturwerts in Abhängigkeit von den Übersteuerungs/Untersteuerungs-Kennlinien, so daß das Bezugsdrehmoment eines außenseitigen Antriebsrads nach der Korrektur relativ im Vergleich zu dem Bezugsdrehmoment eines innenseitigen Antriebsrads im Falle einer Übersteuerung einerseits vermindert wird, und im Falle einer Untersteuerung andererseits vergrößert wird, und
 - eine Einrichtung (118, 120) zum Addieren des Bezugsdrehmoment-Korrekturwerts zum Bezugsdrehmoment.
3. Antriebssteuerungseinrichtung nach Anspruch 1, mit einer Einrichtung (150, 152) zum Aussetzen der Korrektur, wenn die Beschleunigung oder die Winkelbeschleunigung ausreichend klein ist.
4. Antriebssteuerungseinrichtung nach Anspruch 1, mit
 - einer Einrichtung (126) zur Erfassung von Schlupfverhältnissen der jeweiligen Antriebsräder (10RR, 10RL), und
 - einer Einrichtung (144) zum Aussetzen der Korrektur, wenn die erfaßten Schlupfverhältnisse der jeweiligen Antriebsräder nicht ausreichend klein sind.

Hierzu 12 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

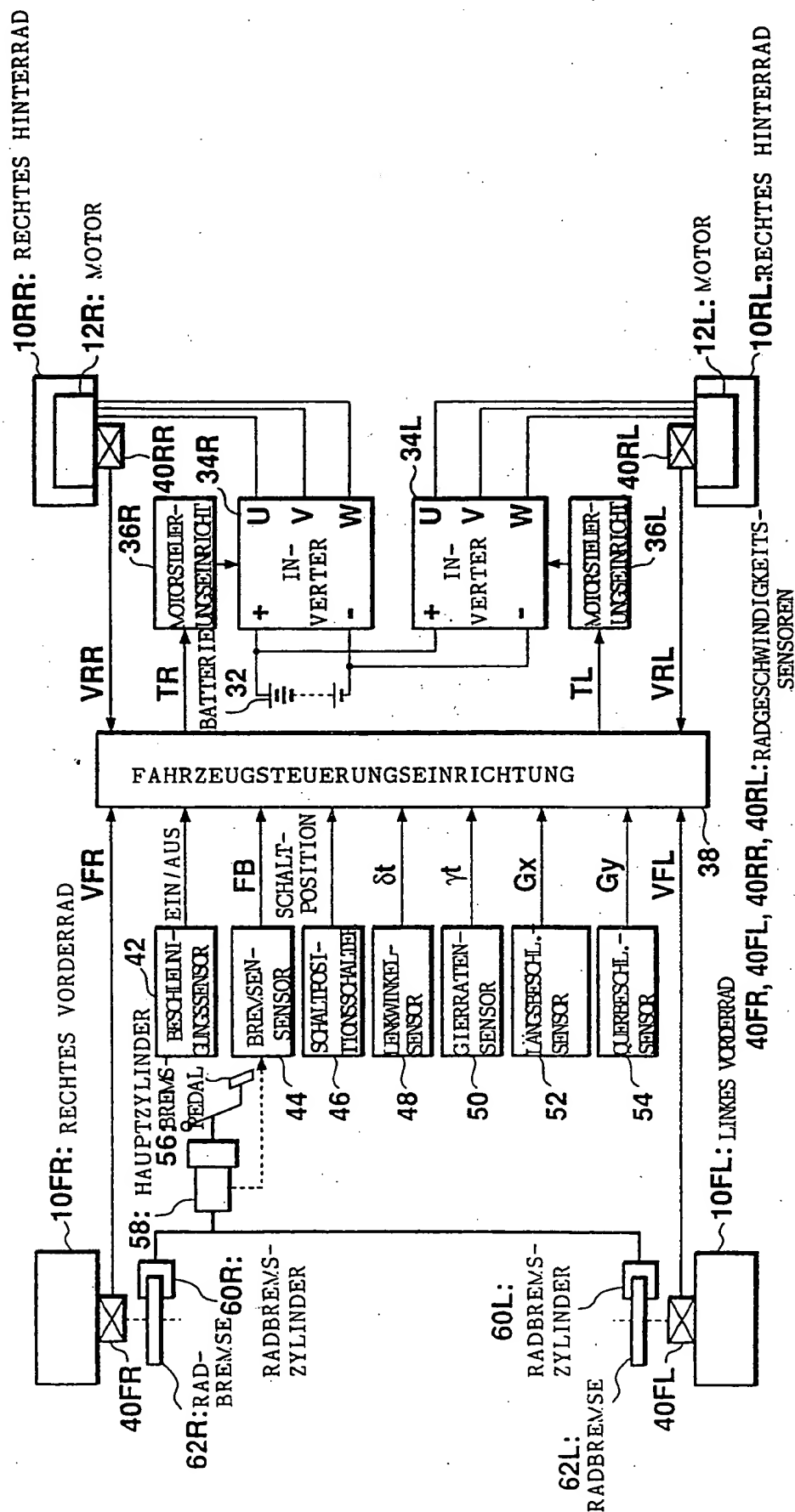


Fig. 1

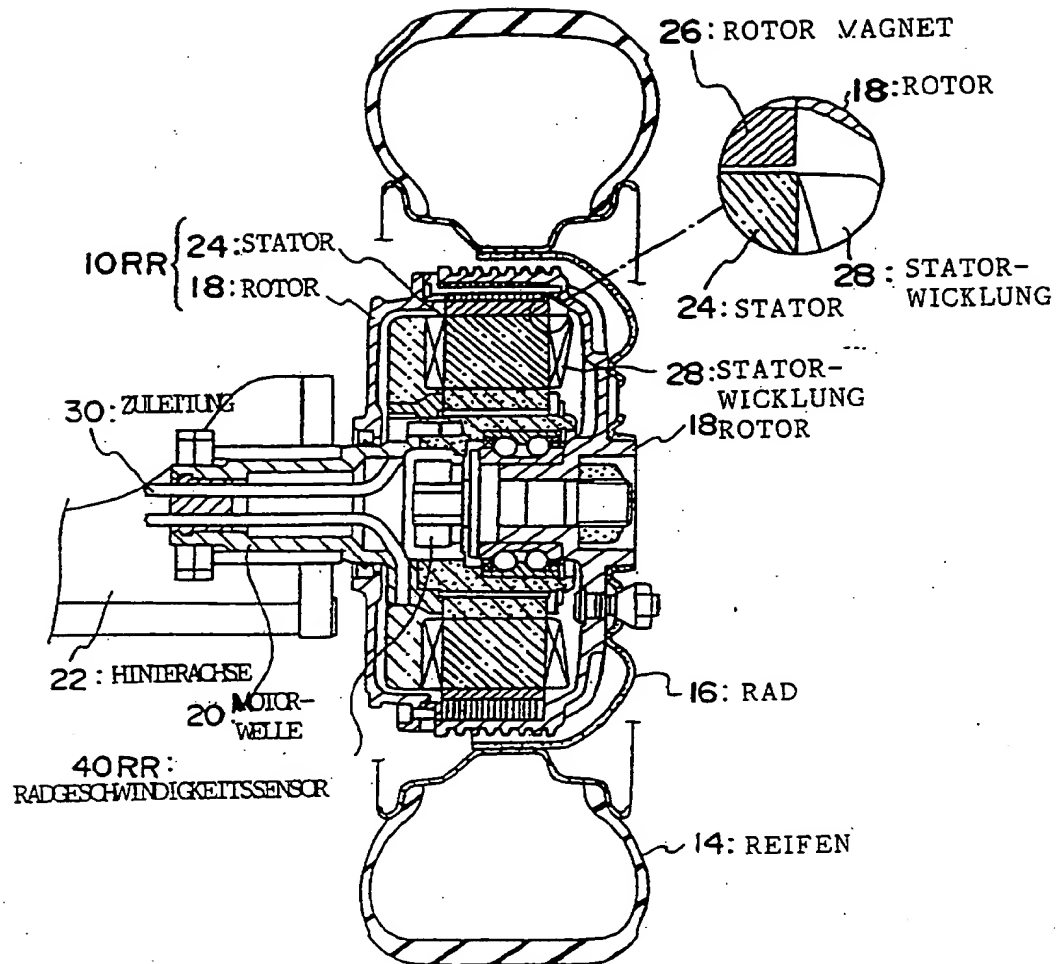


Fig. 2

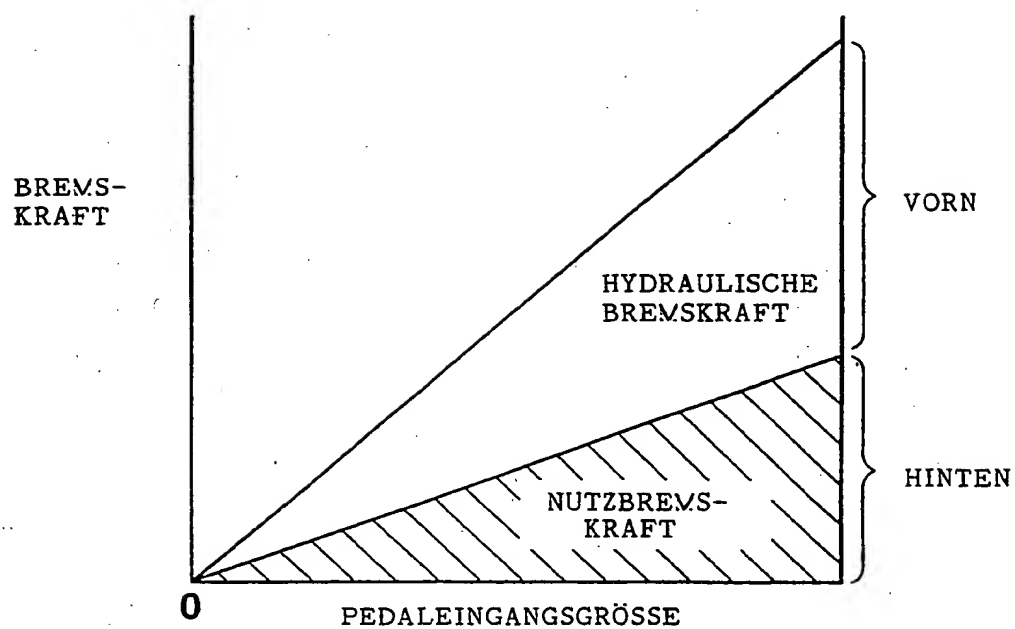


Fig. 3

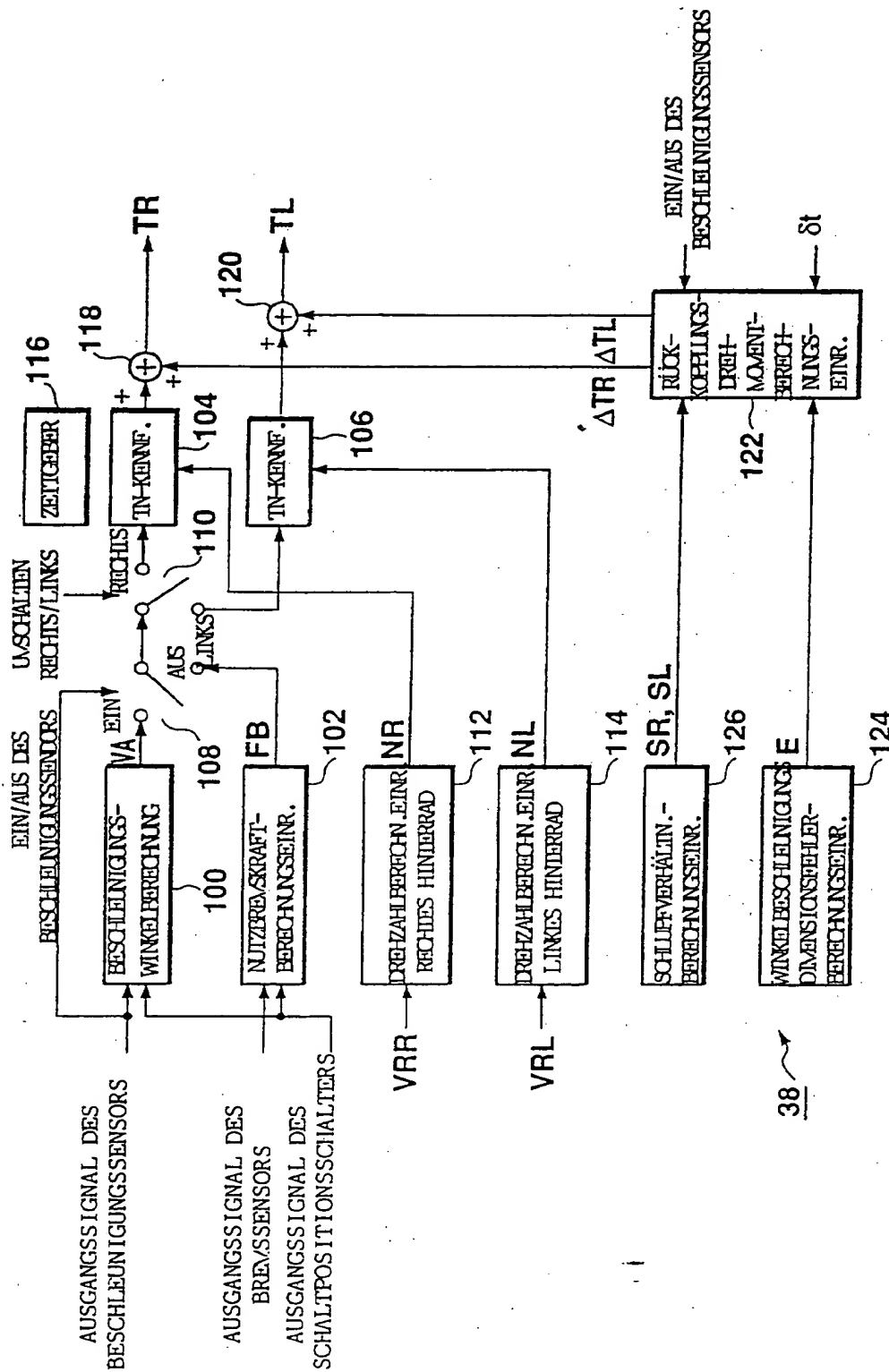


Fig. 4

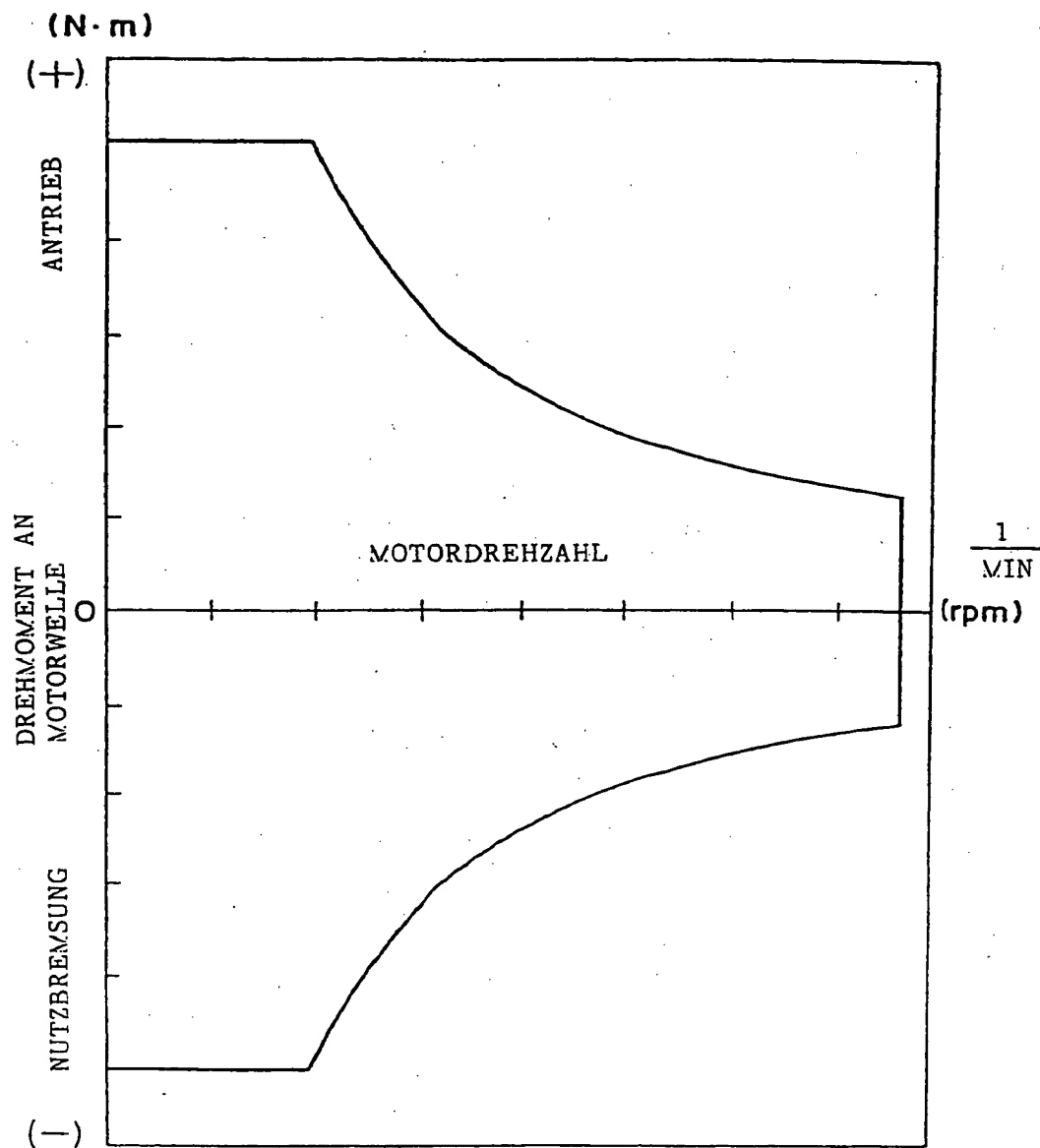


Fig. 5

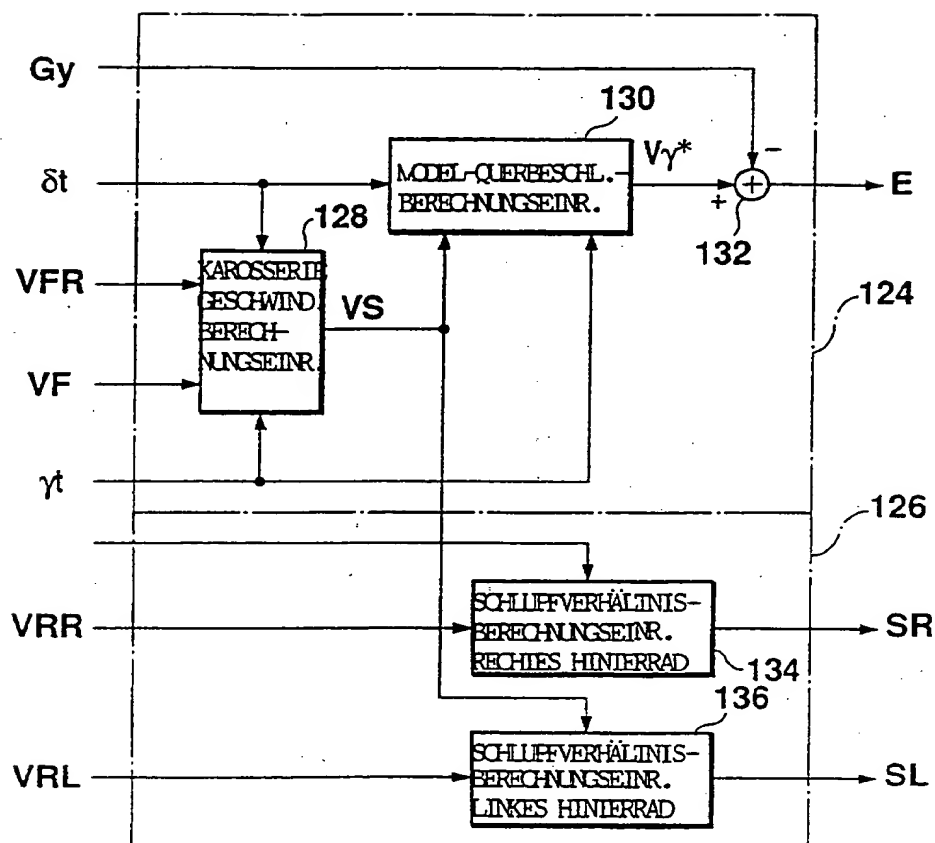


Fig. 6

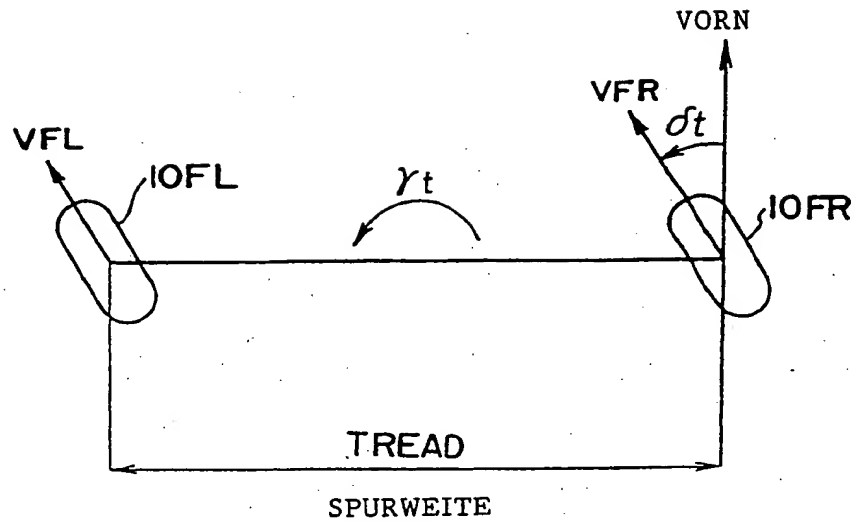


Fig. 7

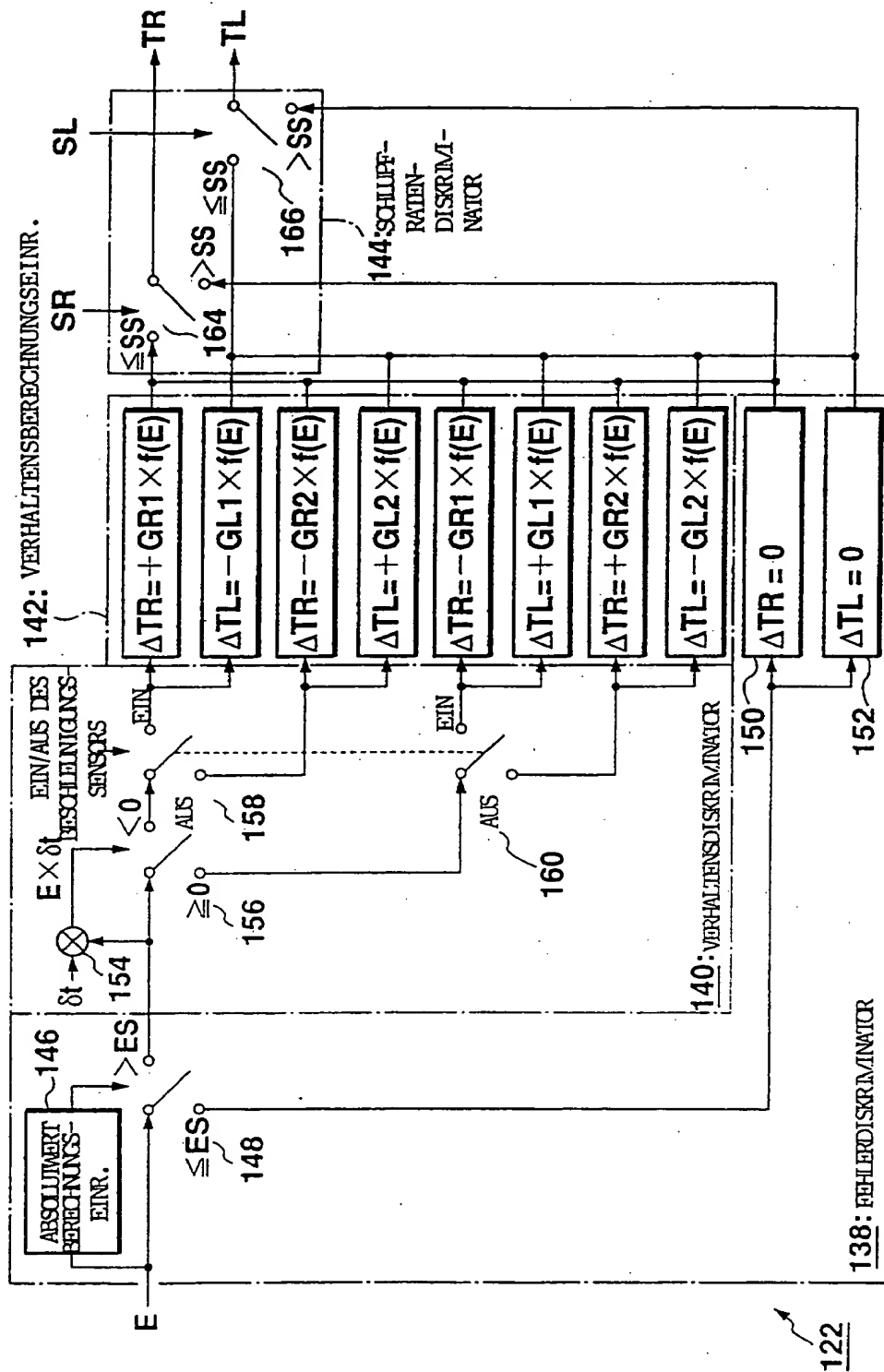


Fig. 8

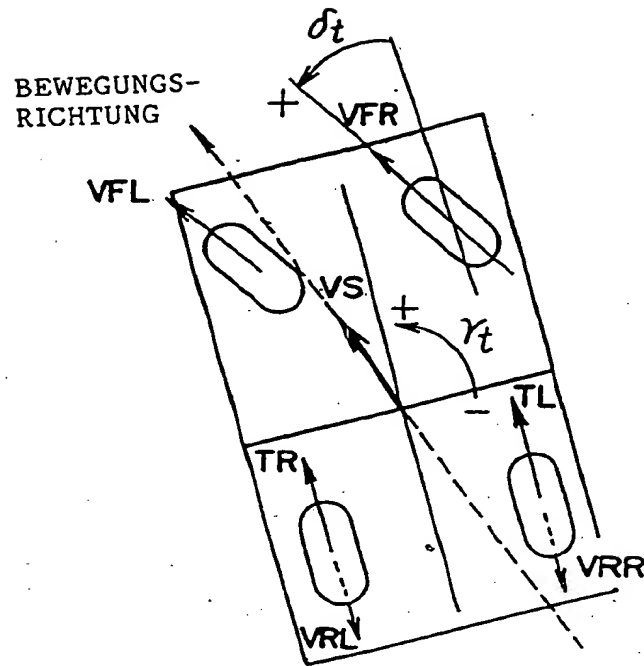


Fig. 9

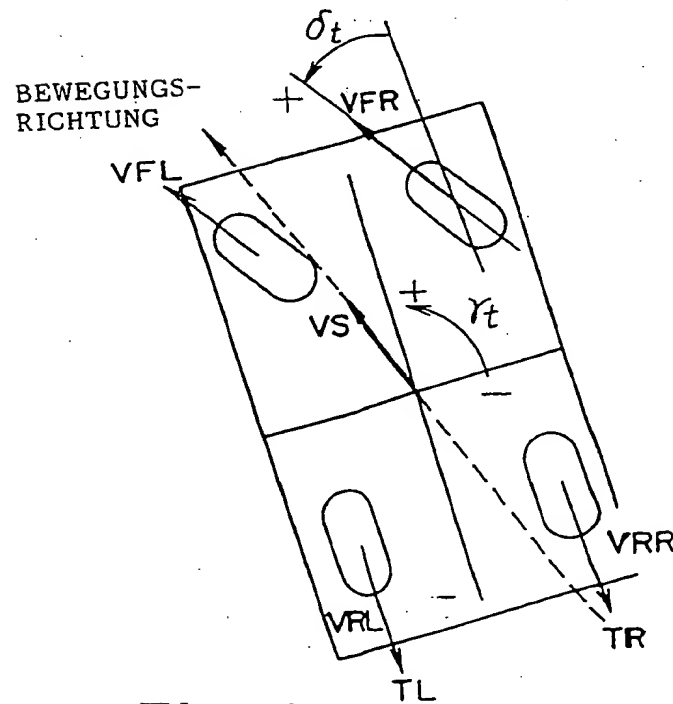


Fig. 10

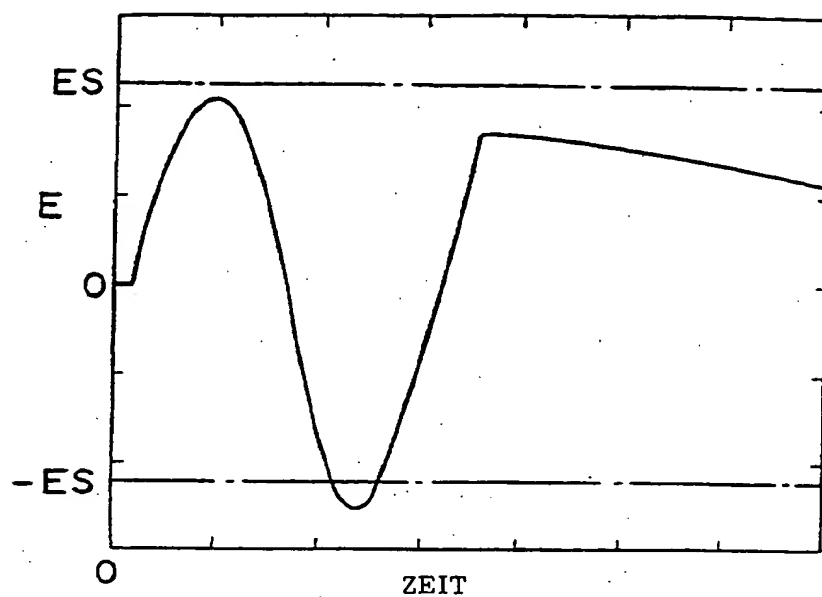


Fig. 11

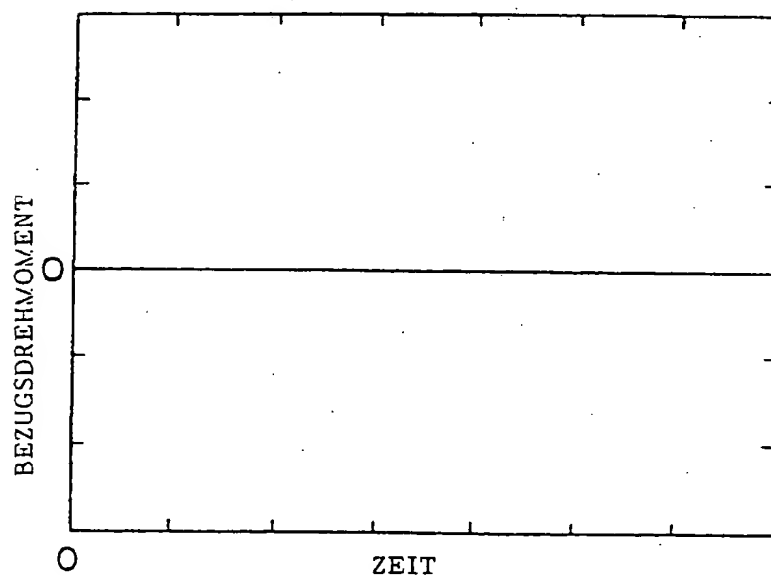


Fig. 12

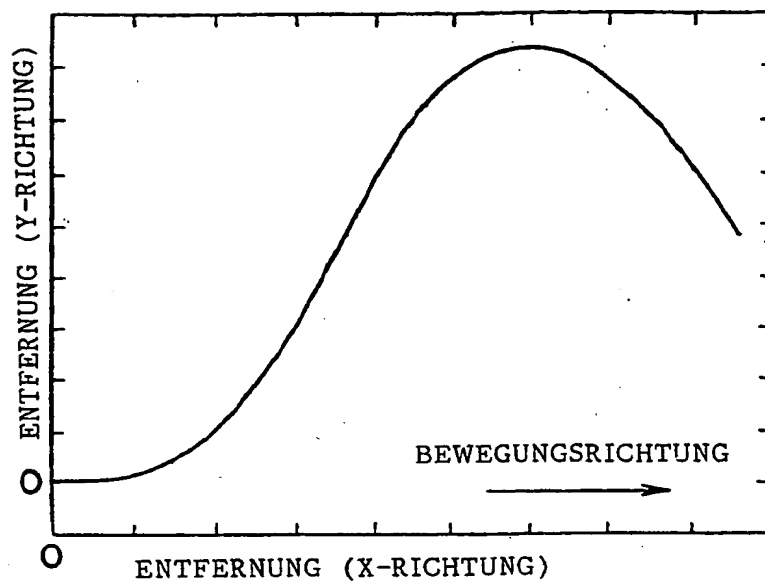


Fig. 13

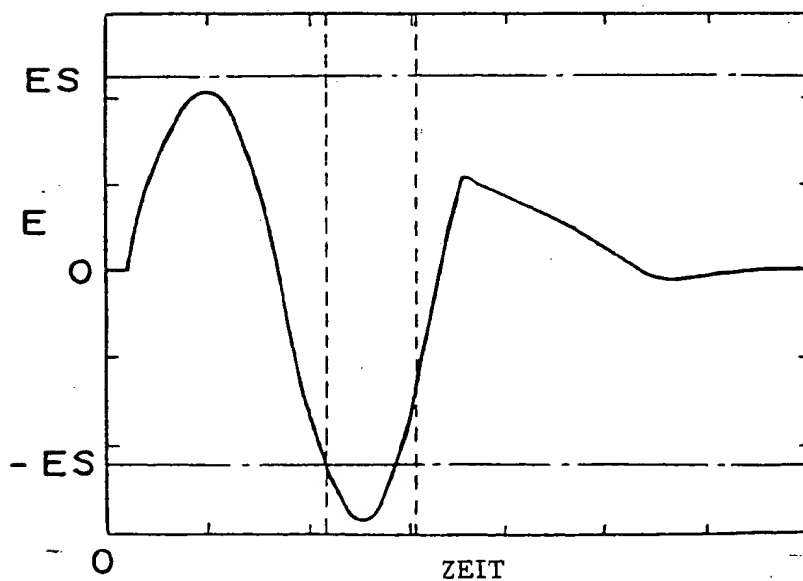


Fig. 14

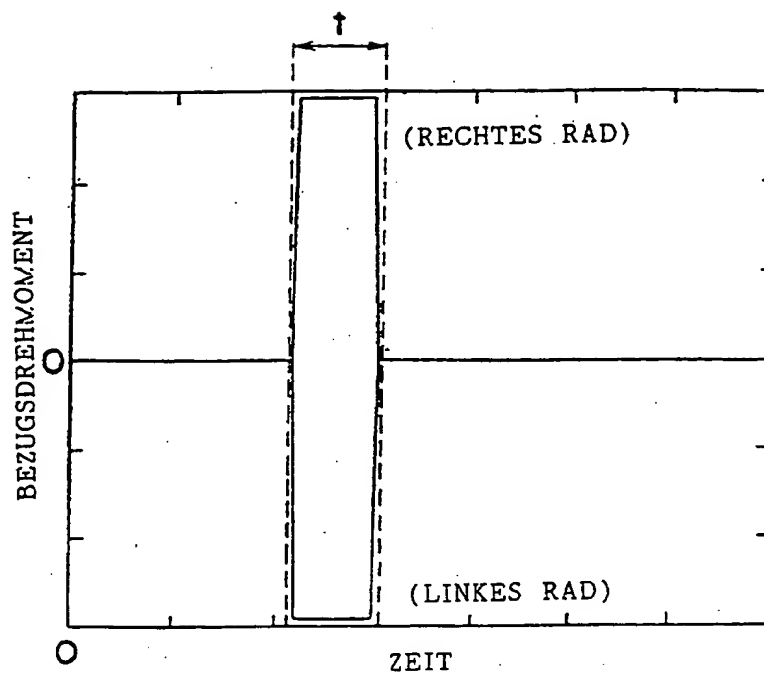


Fig. 15

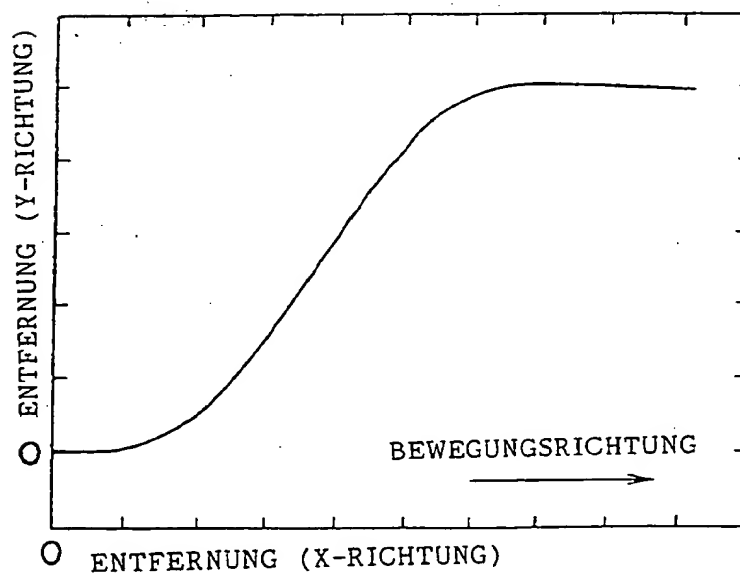


Fig. 16